

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**EFFECTO DE NIVELES DE HUMUS LÍQUIDO DE *Eisenia foetida* (LOMBRICIDAE) SOBRE LA CALIDAD DE PLANTONES DE CEDRO *Cedrela odorata* (MELIACEAE) EN VIVERO.**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ESPINOZA QUISPE, GILBER**

**Tingo María – Perú**

**2026**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°018-2026-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 30 de enero de 2026, a horas 01:30 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DE NIVELES DE HUMUS LÍQUIDO DE *Eisenia foetida* (LOMBRICIDAE)  
SOBRE LA CALIDAD DE PLANTONES DE CEDRO *Cedrela odorata* (MELIACEAE)  
EN VIVERO”**

Presentado por el Bachiller: **ESPINOZA QUISPE, GILBER** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 17 de febrero de 2026

  
Ing. M. Sc. RAÚL ARAUJO TORRES  
PRESIDENTE

  
Ing. MSc. JOSÉ ANTONIO DIONISIO ARMAS  
MIEMBRO

  
Ing. M. Sc. MARIBEL FLORA ROCA CAPCHA  
MIEMBRO

  
Dr. DAVID PRUDENCIO QUISPE JANAMPA  
ASESOR





UNAS

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 071 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

Tesis X Trabajo de Suficiencia Profesional

Table with 4 columns: TÍTULO, AUTOR, SIMILITUD, and CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL. Row 1: EFECTO DE NIVELES DE HUMUS LÍQUIDO DE Eisenia foetida (LOMBRICIDAE) SOBRE LA CALIDAD DE PLANTONES DE CEDRO Cedrela odorata (MELIACEAE) EN VIVERO. ESPINOZA QUISPE, GILBER. 10 % Diez. Menor a 20 %

Tingo María, 09 de marzo de 2026.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO
ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**



**EFECTO DE NIVELES DE HUMUS LÍQUIDO DE *Eisenia foetida* (LOMBRICIDAE)  
SOBRE LA CALIDAD DE PLANTONES DE CEDRO *Cedrela odorata* (MELIACEAE)  
EN VIVERO**

**Autor** : ESPINOZA QUISPE, Gilber

**Asesor (es)** : Dr. QUISPE JANAMPA, David Prudencio  
Ing. EUGENIO QUIROZ, Andi

**Programa de investigación** : Gestión de bosques y plantaciones forestales

**Línea de investigación** : Silvicultura, dendrología, manejo y ordenación forestal

**Eje temático** : Instalación, producción y manejo en viveros y plantaciones forestales

**Lugar de ejecución** : IIAP – Huánuco, distrito Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco

**Duración** : 07 meses

**Financiamiento** : S/ 6 971,36

Propio: Sí

FEDU: No

**Tingo María – Perú**

**2026**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

## VICERRECTORADO DE INVESTIGACION DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

“Promoviendo la Calidad de la Investigación”

### REGISTRO DE PROYECTO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO UNIVERSITARIO

<b>Universidad</b>	: Universidad Nacional Agraria de la Selva
<b>Facultad</b>	: Facultad de Recursos Naturales Renovables
<b>Escuela Profesional</b>	: Escuela Profesional de Ingeniería Forestal
<b>Título de Tesis</b>	: Efecto de niveles de humus líquido de <i>Eisenia foetida</i> (Lombricidae) sobre la calidad de plántones de cedro <i>Cedrela odorata</i> (Meliaceae) en vivero.
<b>Objetivo General</b>	: Evaluar el efecto de niveles de humus líquido de <i>Eisenia foetida</i> Savigny bajo dos intervalos de abonamiento sobre la calidad de plántones de cedro <i>Cedrela odorata</i> Linnaeus en vivero.
<b>Autor de la Tesis</b>	: Gilber Espinoza Quispe
<b>DNI</b>	: 44420396
<b>Correo Electrónico</b>	: giesqui18@gmail.com
<b>Asesores de Tesis</b>	: 1. Dr. Quispe Janampa, David Prudencio : 2. Ing. Eugenio Quiroz, Andi
<b>Área de Investigación</b>	: Gestión de bosques y plantaciones forestales.
<b>Línea de Investigación</b>	: Silvicultura, Dendrología, manejo y ordenación forestal.
<b>Eje Temático de Investigación</b>	: Instalación, producción y manejo en viveros y plantaciones forestales.
<b>Lugar de Ejecución</b>	: IIAP – Huánuco, distrito Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado, región Huánuco.
<b>Fecha de inicio</b>	: 19 / 12 / 2023
<b>Fecha de termino</b>	: 19 / 07 / 2024
<b>Presupuesto</b>	: S/. 6 971,36
<b>Financiamiento</b>	: Propio ( X ) FEDU ( ) Externo ( )

-----  
Espinoza Quispe, Gilber  
Tesisista

-----  
Quispe Janampa, David P.  
Asesor

## DEDICATORIA

*A Dios, por ser mi guía, fortaleza  
y sabiduría en toda la etapa de mi  
vida.*

*A mis padres, Jorge Espinoza  
Calixto y Teresa Quispe Martinez  
de Espinoza, quienes han sido mi  
mayor fuente de inspiración y su  
apoyo inmensurable, me educaron  
con buenos principios y valores  
éticos, a quienes agradezco  
profundamente su amor, esfuerzo y  
sacrificio, que me han permitido  
alcanzar este logro.*

*A mis hermanos, Saul Alfonso  
Espinoza Quispe, Jorge Luis  
Espinoza Quispe y Gustavo  
Méndez Espinoza Quispe, por  
brindarme su apoyo  
incondicional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, mi alma máter, y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, por su invaluable apoyo y orientación a lo largo de mi formación académica.
- Al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), por brindarme su estación experimental y el apoyo en la ejecución del trabajo de investigación.
- Al Dr. David Prudencio Quispe Janampa y al Ing. Felix Andi Eugenio Quiroz, por la orientación sólida en la investigación.
- A todas mis amistades que me apoyaron académicamente, con sus consejos y orientaciones.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Marco teórico .....	3
2.1.1. Lombricultura .....	3
2.1.2. Lombrices .....	4
2.1.3. <i>Eisenia foetida</i> Savigny “Lombriz roja californiana” .....	5
2.1.4. Factores que influyen en la actividad de la lombriz.....	10
2.1.5. Humus Líquido .....	11
2.1.6. Humus de lombriz.....	11
2.1.7. <i>Cedrela odorata</i> (cedro colorado).....	18
2.1.8. Calidad de plantones .....	19
2.1.9. Parámetros morfológicos .....	20
2.2. Estado del arte.....	25
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
3.1. Lugar de ejecución.....	30
3.2. Materiales y métodos .....	31
3.2.1. Material vegetativo .....	31
3.2.2. Materiales y equipos .....	31
3.2.3. Insumos.....	31
3.2.4. Actividades previas.....	31
3.2.8. Metodología.....	33
3.2.9. Evaluación de la supervivencia y atributos morfológicos de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) en vivero .....	38
3.2.10. Determinación de los índices de calidad morfológica de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) en vivero.....	39

<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>42</b>
4.1. Efecto de niveles de humus líquido de <i>Eisenia foetida</i> Savigny sobre la altura, diámetro basal y supervivencia de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) en vivero .....	42
4.1.1. Altura de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	43
4.1.2. Diámetro basal de plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	46
4.1.3. Supervivencia de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	50
4.2. Efecto de niveles de humus líquido de <i>Eisenia foetida</i> Savigny sobre los índices de calidad de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) en vivero .....	52
4.2.1. Índice de esbeltez (IE) de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	52
4.2.2. Relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	56
4.2.3. Índice de calidad de Dickson (ICD) de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	58
4.2.4. Porcentaje de lignificación (IL) .....	61
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>VI. PROPUESTAS A FUTURO .....</b>	<b>64</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Intervalos de calidad del plantón .....	21
2. Combinaciones de cada factor en estudio .....	34
3. ANVA para la evaluación de tratamientos .....	36
4. Prueba de normalidad para las variables altura y diámetro basal de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	42
5. Análisis de varianza para la variable altura y diámetro basal de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado), en la última evaluación .....	43
6. Estadísticos de la variable supervivencia de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	50
7. Supervivencia de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por tratamientos .....	51
8. Prueba de normalidad para la variable índice de esbeltez de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	52
9. Análisis de varianza para el índice de esbeltez de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado), en la última evaluación .....	53
10. Estadísticos de la variable parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	56
11. Relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por tratamientos .....	58
12. Estadísticos del índice de calidad de Dickson de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	59
13. Índice de calidad de Dickson de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por tratamientos .....	60
14. Estadísticos del índice de lignificación de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) .....	61
15. Índice de lignificación de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por tratamientos .....	62

16. Última evaluación de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> (cedro colorado) por dosis y por frecuencia de aplicación.....	80
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ciclo biológico de <i>Eisenia foetida</i> Savigny (Saavedra, 2007). ....	7
2. Precipitación total diaria (mm) de los meses de aplicación febrero, marzo, abril y mayo.....	25
3. Diseño de la muestra para la investigación.....	35
4. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental. ....	36
5. Efecto de las dosis de humus de lombriz líquido en la variable altura de las plantas ....	44
6. Efecto de la frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable altura de las plantas .....	45
7. Efecto de la interacción dosis de humus de lombriz líquido × frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable altura de las plantas .....	46
8. Efecto de las dosis de humus de lombriz líquido en la variable diámetro basal de las plantas .....	47
9. Efecto de la frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable diámetro basal de las plantas.....	48
10. Efecto de la interacción dosis de humus de lombriz líquido × frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable diámetro basal de las plantas .....	49
11. Efecto de las dosis de humus de lombriz líquido en el índice de esbeltez de las plantas .....	54
12. Efecto de la frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable índice de esbeltez de las plantas .....	55
13. Efecto de la interacción dosis de humus de lombriz líquido × frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable índice de esbeltez de las plantas .....	56
14. Relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por dosis de humus de lombriz y por frecuencia de aplicación .....	58

15. Índice de calidad de Dickson de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por dosis de humus de lombriz y por frecuencia de aplicación.....	60
16. Índice de lignificación de las plantas de <i>Cedrela odorata</i> L. (cedro colorado) por dosis de humus de lombriz y por frecuencia de aplicación.....	62
17. Acondicionamiento de la cama germinadora con el musgo blanco ( <i>Sphagnum Moss</i> ), con sombra del 80% (malla raschel) .....	74
18. Preparación de humus líquido en 50 mL, 100 mL, y 150 mL para su aspersión sobre las plántulas de <i>Cedrela odorata</i> .....	74
19. Medición de diámetro, en base de la planta de <i>Cedrela odorata</i> .....	75
20. Medición de la altura, desde la base hasta el ápice de la planta de <i>Cedrela odorata</i> ....	75
21. Aplicación del humus líquido de <i>Eisenia foetida</i> (Lombricidae), mediante aspersión .	76
22. Visita de los jurados, para la evaluación de la ejecución de tesis.....	76
23. Preparación de las muestras para registrar el peso inicial. ....	77
24. Secado de las muestras en la estufa a 70°-80°C durante 24-72 horas. ....	77
25. Análisis de suelo en el laboratorio de la UNAS.. ....	77
26. Reporte de temperaturas máximas – mínimas y precipitación de la estación climatológica de Tulumayo.....	77

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes dosis de humus líquido de *Eisenia foetida* S. (lombriz roja californiana) en el crecimiento y la calidad de plantones de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en condiciones controladas de vivero. Se aplicaron cuatro dosis de humus líquido (0, 50, 100 y 150 mL) con dos frecuencias de aplicación (cada 7 y 14 días), evaluando los parámetros de altura, diámetro basal, supervivencia, índice de esbeltez, relación parte aérea/parte radicular, índice de Dickson e índice de lignificación. Los resultados mostraron una alta supervivencia (> 90%) en todos los tratamientos, lo que indica una buena adaptación al sustrato. Las dosis intermedias (50–100 mL) y las aplicaciones cada 7 días promovieron un mayor crecimiento en altura y diámetro basal, reflejando un equilibrio más adecuado de nutrientes, mientras que la dosis más alta (150 mL) mostró una reducción en el vigor y la calidad, posiblemente por exceso de nutrientes. Los índices morfológicos presentaron diferencias significativas, destacando la dosis de 150 mL, que obtuvo los valores más altos del índice de Dickson y del índice de lignificación, evidenciando una mejor distribución de biomasa y resistencia estructural. En conjunto, el uso de dosis moderadas de humus de lombriz mejoró la calidad morfológica y el vigor de las plantas, incrementando su potencial de supervivencia y adaptación en campo. Se concluye que el humus líquido de lombriz constituye una alternativa ecológica y sostenible frente a los fertilizantes químicos, contribuyendo a la producción de plantas forestales de alta calidad y a los programas de reforestación y restauración ecológica.

**Palabras clave:** Calidad de planta, *Cedrela odorata*, humus líquido, plantones.

## The Effect of the Levels of Liquid Humus from *Eisenia foetida* (Lumbricidae) on the Quality of Spanish Cedar *Cedrela odorata* (Meliaceae) Seedlings in a Plant Nursery

### Abstract

The objective of the research work was to evaluate the effect of different doses of liquid humus from *Eisenia foetida* S. (California red worms) on the growth and quality of *Cedrela odorata* L. (Spanish cedar) seedlings with controlled conditions in a plant nursery. Four doses of liquid humus (0, 50, 100, and 150 mL) at two frequencies of application (every 7 and 14 days), were evaluated for the parameters of height, base diameter, survival rate, slenderness index, aerial part to root part relationship, Dickson index, and lignification index. The results revealed a high survival rate (> 90%) for all of the treatments, which indicated a good adaptation to the substratum. The intermediate doses (50–100 mL) and the application every seven days promoted the greatest growth in the height and base diameter, reflecting a more adequate balance of nutrients, while the highest dose (150 mL) revealed a reduction in the vigor and quality, possibly due to excess nutrients. The morphological indices presented significant differences, [where] the 150 mL dose stood out, which had the highest values for the Dickson index and the lignification index, evidencing a better distribution of biomass and structural resistance. Together, the use of moderate worm humus doses improved the morphological quality and vigor of the plants, increasing their potential for survival and adaptation in the field. It was concluded that liquid worm humus is an ecological and sustainable alternative, in comparison to chemical fertilizers, contributing to the production of high quality forest plants and to reforestation and ecological restoration programs.

**Keywords:** Plant quality, *Cedrela odorata*, liquid humus, seedlings.

## I. INTRODUCCIÓN

En vivero, la producción de plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) de alta calidad requiere del uso de tecnología apropiada durante todo el proceso de producción. En ese sentido, el sustrato y el abonado en los primeros días de vida son fundamentales para obtener plantas de calidad, puesto que el sustrato constituye el espacio donde las raíces incrementarán su tamaño durante un tiempo relativamente corto. El humus líquido y sólido constituyen una alternativa importante como abono orgánico después del repique de las plántulas de *Cedrela odorata* L., ya que contienen nutrientes esenciales para su buen desarrollo en vivero. Su utilización contribuye a mejorar las condiciones del sustrato y favorece esquemas de producción más sostenibles, aunque, a pesar de su importancia, la producción y el aprovechamiento del humus aún son poco difundidos y practicados.

En el caso de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), el aprovechamiento intensivo e indiscriminado ha afectado su regeneración natural, por lo que la especie fue incluida en el Apéndice II de la Convención CITES desde el 28 de agosto de 2020 en el Perú, regulando así su comercio internacional. Esta situación evidencia la necesidad de fomentar prácticas de manejo y reforestación que aseguren la disponibilidad futura de la especie.

Sin embargo, existe escasa información sobre el manejo y la producción a pequeña escala y mediana escala de plántulas de *Cedrela odorata* L. en fase vivero, lo que genera limitaciones en la aplicación de métodos o técnicas apropiadas de producción. Por ello, resulta necesario evaluar alternativas de fertilización orgánica para esta especie forestal de alto valor comercial, con la finalidad de proponer y promover planes de producción de plántulas de alta calidad de forma orgánica y sostenible.

A esta escasez de información se suma el uso frecuente de fertilizantes químicos en la producción de plántulas, lo que ha motivado el interés por conocer la utilidad del humus líquido en la obtención de plantas con mejores características morfológicas. En este contexto, la presente investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de distintos niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny aplicados en intervalos de 7 y 14 días, en fase vivero, con el fin de contribuir a la solución de problemas relacionados con la producción de plantas de calidad desde el punto de vista forestal.

En relación con este problema, se formuló la siguiente interrogante: ¿cuál es el efecto de los niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny (Lumbricidae) sobre la calidad de plantones de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero?. Asimismo, se planteó como hipótesis que los niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny y los intervalos de aplicación (7 y 14 días) tienen un efecto significativo sobre la calidad de los plantones de *Cedrela odorata* L. en vivero. Para responder a esta interrogante y aceptar o rechazar la hipótesis, se establecieron los siguientes objetivos.

**Objetivo general:**

- Evaluar el efecto de niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny bajo dos intervalos de abonamiento sobre la calidad de plantones de cedro *Cedrela odorata* Linnaeus en vivero.

**Objetivos específicos:**

- Determinar el efecto de niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny sobre la altura, diámetro basal y supervivencia de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero.
- Determinar el efecto de niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny sobre los índices de calidad de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero: Índice de esbeltez (IE), relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR), Índice de Calidad de Dickson (ICD) y porcentaje de lignificación (IL).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Lombricultura

La lombricultura se fundamenta en el vermicompostaje, un proceso biotecnológico de transformación de residuos orgánicos que integra la actividad metabólica de lombrices y microorganismos del suelo. A través de procesos de degradación, bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, se genera un producto final con características homogéneas, alta estabilidad y textura fina, conocido como vermicompost, humus de lombriz o compost de lombriz (Saavedra, 2007). Este material se caracteriza por su elevado contenido de nutrientes disponibles, los cuales pueden ser absorbidos con facilidad por las plantas, favoreciendo su crecimiento y desarrollo.

El vermicompost obtenido puede emplearse de diversas maneras dentro de los sistemas productivos, ya sea como fertilizante orgánico, acondicionador de suelos degradados o componente de sustratos para la producción de hortalizas en ambientes controlados, como invernaderos (Galindo et al., 2014). A pesar de los resultados positivos reportados en diferentes cultivos, aún es limitada la información científica que evalúe de manera integral el efecto del vermicompost como biofertilizante en comparación con otros insumos orgánicos convencionales (Villa-Briones et al., 2008).

Desde el punto de vista nutricional, el vermicompost presenta concentraciones significativamente superiores de nutrientes esenciales en relación con el estiércol bovino sin procesar, destacando un mayor contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Además, el proceso de vermicompostaje permite la conversión de residuos orgánicos en compuestos más estables, lo que justifica su clasificación como una modalidad especializada de compostaje. Asimismo, este bioabono contiene enzimas y fitohormonas que estimulan el crecimiento vegetal y contribuyen a la reducción de organismos patógenos en el suelo (Hernández, 2019).

En este contexto, la lombriz roja constituye una herramienta clave dentro de las estrategias biotecnológicas orientadas al reciclaje y aprovechamiento de desechos

orgánicos. Entre las especies utilizadas, *Eisenia foetida* Savigny es la más empleada en los sistemas de lombricultura debido a su elevada capacidad reproductiva, eficiencia en la degradación de materia orgánica y producción de vermicompost de alta calidad (Loza et al., 2010).

### 2.1.2. Lombrices

Charles Darwin reconoció tempranamente la importancia de las lombrices al denominarlas “los primeros labradores”, destacando su papel fundamental en la aireación, estructuración y mejora de la fertilidad del suelo, producto de su capacidad para transformar residuos orgánicos. A lo largo del proceso evolutivo, estos organismos se han diversificado ampliamente, registrándose alrededor de 4 400 especies terrestres con distribución global (Hernández, 2019).

No obstante, pese a esta elevada diversidad, solo un número reducido de especies aproximadamente seis resulta adecuado para la biodegradación eficiente de residuos orgánicos. Estas especies pertenecen principalmente al grupo ecológico de las lombrices epigeas, caracterizadas por una estrategia reproductiva de tipo r, es decir, alta fecundidad y rápido recambio generacional. Esta condición permite mantener poblaciones abundantes y una elevada tasa de consumo del sustrato orgánico, lo que favorece y acelera los procesos de descomposición (Saavedra, 2007).

Desde una perspectiva agroambiental, las lombrices representan un recurso biológico de alto valor para la sostenibilidad agrícola, debido a su intervención directa en la mejora de las propiedades físicas del suelo, la regulación de la dinámica de la materia orgánica y el estímulo del crecimiento vegetal. Junto con otros macrodescomponedores, forman parte esencial de la fauna edáfica, participando activamente en el reciclaje de nutrientes y en los procesos de formación del suelo. Sin embargo, estas funciones pueden verse afectadas negativamente por la presencia de contaminantes o elementos tóxicos en el medio edáfico (Loza et al., 2010).

Ecológicamente, las lombrices se agrupan en tres grandes categorías. Las especies epigeas habitan la superficie del suelo y se desarrollan en acumulaciones de materia orgánica, como hojarasca, restos vegetales en descomposición y excretas animales. Las

lombrices endógeas, por su parte, viven permanentemente en el interior del suelo; carecen de pigmentación, presentan tamaños variables y se alimentan principalmente de una mezcla de minerales y materia orgánica. Finalmente, las lombrices anécicas se caracterizan por la construcción de galerías profundas y por su desplazamiento vertical entre la superficie y el subsuelo.

En cuanto a su biología reproductiva, las lombrices son organismos hermafroditas y alcanzan la madurez sexual aproximadamente a los tres meses posteriores a la eclosión. El apareamiento ocurre con una frecuencia de ocho a diez días, generando capullos de los cuales emergen individuos completamente formados. El periodo de incubación dentro del capullo varía en función de la temperatura del sustrato, siendo óptimo el desarrollo entre 20 y 25 °C, con tiempos de eclosión que oscilan entre 14 y 44 días (Montes & Ruiz, 2004).

### **2.1.3. *Eisenia foetida* Savigny “Lombriz roja californiana”**

La especie *Eisenia foetida* Savigny, comúnmente denominada lombriz roja californiana, es la más difundida y utilizada a nivel mundial, participando en más del 80 % de los sistemas de cría destinados a la lombricultura. Su empleo se ha consolidado debido a sus notables ventajas biológicas y productivas, entre las que destacan su elevada capacidad reproductiva, rápida adaptación a condiciones controladas y amplia tolerancia a distintos tipos de residuos orgánicos.

Estas características han posicionado a *E. foetida* como la especie más eficiente para los procesos de vermicompostaje, ya que presenta un alto consumo de materia orgánica y una notable eficiencia en la transformación de residuos en vermicompost de calidad. Por estas razones, su uso se ha generalizado progresivamente, convirtiéndose en la principal especie empleada en la producción de abonos orgánicos mediante lombricultura (Saavedra, 2007).

En consecuencia, *Eisenia foetida* Savigny se ha convertido en el organismo base de los sistemas modernos de producción de humus de lombriz, siendo ampliamente empleada tanto en sistemas artesanales como a escala comercial.

### 2.1.3.1. Categoría taxonómica

Desde el punto de vista taxonómico, *Eisenia foetida* Savigny se clasifica de la siguiente manera:

Reino : Animalia

Filo : Annelida

Clase : Clitellata

Orden : Opisthopora

Familia : Lumbricidae

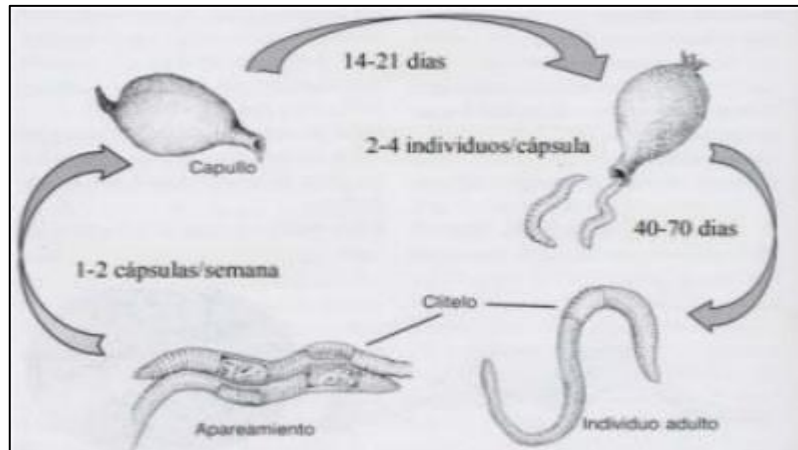
Género : *Eisenia*

Especie : *Eisenia foetida*

### 2.1.3.2. Biología

La lombriz de tierra se caracteriza por poseer una organización biológica relativamente simple y un elevado contenido hídrico, el cual representa aproximadamente entre el 80 % y el 90 % de su peso corporal total. Su coloración puede variar según la especie y está determinada por la presencia de pigmentos como la protoporfirina y su éster metílico, los cuales cumplen una función protectora frente a la radiación ultravioleta.

Morfológicamente, presenta un cuerpo alargado y cilíndrico, conformado por segmentos de forma ligeramente cuadrangular. Las dimensiones corporales muestran una amplia variabilidad entre especies, registrándose longitudes que oscilan entre 5 y 30 cm y diámetros aproximados de 5 a 25 mm. Asimismo, el número de segmentos corporales puede variar entre 80 y 175 anillos, lo que refleja la diversidad morfológica dentro de este grupo de organismos edáficos (Pineda, 2006).



**Figura 1.** Ciclo biológico de *Eisenia foetida* Savigny (Saavedra, 2007).

### 2.1.3.3. Hábitat

De acuerdo con Pineda (2006), la lombriz habita en los primeros 50 cm de suelo húmico y es muy susceptible a cambios climáticos (no tolera los excesos de frío-calor-humedad). Es fotofóbica, los rayos ultravioletas pueden perjudicarla gravemente.

Por otra parte, en condiciones de acidez o alcalinidad extremas, una alimentación inadecuado o niveles de humedad superiores al 80% o inferiores al 70% resultan desfavorables para su desarrollo. Durante su actividad, la lombriz excava túneles en suelos blandos y húmedos, succionando el material orgánico mediante la faringe evaginada, para luego expulsar los residuos no digeridos en la superficie (Pineda, 2006).

### 2.1.3.4. Sistema digestivo

El aparato digestivo de la lombriz se inicia en la región bucal, donde el prostomio, con forma de labio, cumple la función de facilitar la captación del alimento. A continuación, las células del paladar intervienen en la selección del material ingerido, el cual es conducido hacia el esófago. En esta porción del sistema digestivo se encuentran las glándulas calcíferas, responsables de la secreción de iones de calcio, los cuales desempeñan un papel fundamental en la regulación del equilibrio ácido-base del medio interno, contribuyendo a la neutralización del pH del sustrato ingerido.

Posteriormente, el alimento es almacenado temporalmente en el buche, desde donde es transferido al intestino, donde se desarrollan los principales procesos de digestión y absorción de los nutrientes (Hernández, 2019).

#### **2.1.3.5. Aparato excretor**

El aparato excretor está constituido por nefridios, dos para cada anillo. Las células internas son ciliadas y sus movimientos permiten retirar los desechos del celoma (Hernández, 2019).

#### **2.1.3.6. Sistema respiratorio**

El sistema respiratorio de la lombriz es de tipo simple o primitivo, ya que el intercambio gaseoso se realiza directamente a través de la superficie corporal. Este proceso ocurre mediante la piel, la cual presenta una abundante irrigación sanguínea que facilita la difusión del oxígeno hacia los tejidos y la eliminación del dióxido de carbono (Hernández, 2019).

La respiración cutánea se ve favorecida por la presencia de una capa mucosa que recubre el tegumento, producida por glándulas epidérmicas especializadas. Esta mucosidad mantiene la humedad necesaria para que el intercambio gaseoso se realice de manera eficiente. En consecuencia, la exposición directa a la radiación solar provoca la desecación de la piel, interrumpiendo la respiración y ocasionando la muerte del organismo por asfixia (Montes & Ruiz, 2004).

#### **2.1.3.7. Sistema reproductivo**

Las lombrices son organismos hermafroditas con una elevada capacidad reproductiva y una longevidad que puede alcanzar aproximadamente los 16 años. El desarrollo sexual se completa varios meses después de la eclosión, alcanzando la madurez alrededor del séptimo mes, momento a partir del cual se inicia la actividad reproductiva. El apareamiento ocurre con una frecuencia aproximada de ocho a diez días y da lugar a la formación de cápsulas u huevos, cuyo periodo de incubación oscila entre 12 y 21 días, dependiendo principalmente de las condiciones ambientales, en especial de la temperatura del

sustrato. El rango térmico óptimo para el desarrollo embrionario se sitúa entre 20 y 25 °C (Fuentes, 1987).

La fecundación se realiza mediante el clitelo, estructura glandular encargada de la secreción de la cápsula reproductiva. Estas cápsulas presentan una coloración amarillo verdosa y dimensiones aproximadas de 2–3 mm de ancho por 3–4 mm de largo, adoptando una forma ovalada de reducido tamaño. Tras la eclosión, emergen individuos completamente formados que permanecen dentro del capullo durante un periodo variable antes de incorporarse al sustrato (Fuentes, 1987).

En condiciones adecuadas de manejo, cada lombriz puede producir hasta 1 500 individuos por año, lo que implica que una pareja reproductora puede originar alrededor de 3 000 lombrices anualmente. Con un régimen óptimo de humedad y disponibilidad de alimento, el acoplamiento puede ocurrir de manera semanal, y aproximadamente cada 14 días las cápsulas se abren, liberando en promedio hasta 20 lombrices jóvenes. Estas alcanzan la madurez sexual cerca de los tres meses de edad, permitiendo una rápida expansión poblacional. Desde el momento de su nacimiento, las lombrices son organismos autónomos en su alimentación y únicamente requieren un ambiente con adecuada humedad para asegurar su supervivencia y desarrollo (Fuentes, 1987).

#### **2.1.3.8. Enemigos naturales**

Dentro de los sistemas de lombricultura, el ser humano constituye el principal factor de riesgo para las lombrices cuando se aplican prácticas inadecuadas de manejo del vermicompostaje. Un control deficiente de las condiciones ambientales y operativas puede generar pérdidas significativas en las poblaciones de lombrices. Asimismo, diversos organismos pueden actuar como depredadores naturales, entre los que destacan roedores, aves, hormigas y ácaros, los cuales representan una amenaza constante para los cultivos de lombrices. No obstante, su incidencia puede reducirse eficazmente mediante la implementación de barreras físicas, como el uso de mallas sombra, que limitan el acceso de estos organismos al sistema de cría (Saavedra, 2007).

En regiones tropicales, la planaria es considerada una de las plagas más perjudiciales para los lombricultivos, debido a su comportamiento altamente

depredador. Este platelminto se adhiere al cuerpo de la lombriz y se alimenta de su contenido interno, ocasionando su muerte. El manejo preventivo de esta plaga se basa principalmente en el control del pH del sustrato, manteniéndolo en un rango ligeramente alcalino, entre 7,5 y 8, condición que limita su desarrollo y actividad, dado que la planaria prolifera con mayor facilidad en ambientes ácidos (Saavedra, 2007).

#### **2.1.4. Factores que influyen en la actividad de la lombriz**

- **Humedad.**

La humedad del sustrato constituye un factor determinante para el adecuado desarrollo, supervivencia y actividad fisiológica de las lombrices, en interacción directa con la temperatura ambiental. Se recomienda mantener niveles de humedad cercanos al 75 %, ya que un medio excesivamente seco o saturado puede afectar negativamente la población. La necesidad de ambientes húmedos está estrechamente vinculada al tipo de respiración cutánea que presentan estos organismos, dado que el intercambio gaseoso se realiza a través de la epidermis, la cual debe permanecer húmeda para funcionar correctamente (Montes & Ruiz, 2004).

- **Temperatura.**

La temperatura es uno de los factores que mayor influencia ejerce sobre el metabolismo, la actividad biológica, el crecimiento y la reproducción de las lombrices. Los sistemas de vermicompostaje pueden operar dentro de un rango térmico relativamente amplio, comprendido entre 10 y 35 °C. Sin embargo, la especie *Eisenia foetida* presenta un óptimo de desarrollo alrededor de los 25 °C, aunque, debido a su carácter epigeo, es capaz de tolerar condiciones extremas que oscilan entre 0 y 35 °C sin comprometer su supervivencia (Montes & Ruiz, 2004).

- **pH.**

El potencial de hidrógeno del sustrato influye directamente en la actividad de las lombrices y en la estabilidad del proceso de

vermicompostaje. La mayoría de los materiales orgánicos previamente compostados, como estiércoles y residuos vegetales, suelen presentar valores de pH comprendidos entre 5,0 y 9,0, rango dentro del cual las lombrices pueden colonizar el sustrato. No obstante, a medida que avanza el proceso de degradación biológica, el pH tiende a estabilizarse gradualmente hacia valores cercanos a la neutralidad, generalmente entre 6,8 y 7,4, característica típica de los lombricompostos maduros (Montes & Ruiz, 2004).

### **2.1.5. Humus Líquido**

El humus líquido, también conocido como vermiwash, es un subproducto líquido generado durante el proceso de producción del humus de lombriz, principalmente por la acción de la lombriz *Eisenia foetida* S. Este líquido contiene una alta concentración de nutrientes solubles, fitohormonas naturales, microorganismos beneficiosos y compuestos bioactivos, lo que lo convierte en un biofertilizante y bioestimulante natural de gran valor agronómico, Edwards et al. (2011).

El humus líquido está compuesto por una diversidad de elementos que actúan de manera sinérgica. Entre ellos, se encuentran macronutrientes y micronutrientes solubles como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Asimismo, contiene ácidos húmicos y fúlvicos que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Adicionalmente, presenta hormonas vegetales naturales, tales como auxinas, citoquininas y giberelinas, las cuales estimulan el crecimiento radicular y la división celular. Finalmente, la presencia de microorganismos benéficos contribuye a la mejora de la salud del suelo y a la protección frente a patógenos (Edwards et al., 2011).

### **2.1.6. Humus de lombriz**

El humus de lombriz, también denominado lombrihumus, ha demostrado ser un sustrato altamente eficiente para la producción hortícola en condiciones de invernadero, ya que permite cubrir adecuadamente los requerimientos nutricionales de los cultivos y, al mismo tiempo, disminuir de manera significativa la dependencia de fertilizantes de origen

sintético (Milpa-Mejía, 2012). Su uso contribuye a una nutrición más equilibrada y sostenible, favoreciendo el desarrollo vegetal bajo sistemas productivos intensivos.

Asimismo, el lombrihumus constituye una fuente relevante de carbono orgánico humificado, el cual desempeña un papel clave en la recuperación y mantenimiento de la materia orgánica natural del suelo. Este aporte se traduce en mejoras sustanciales de las propiedades físicas del suelo, tales como la estructura, la porosidad y la capacidad de retención de humedad, además de promover una liberación gradual y sostenida de los nutrientes presentes en el sustrato (Milpa-Mejía, 2012).

Desde el punto de vista fisiológico, las raíces de las plantas requieren un suministro continuo de oxígeno para garantizar procesos adecuados de respiración y crecimiento. En este sentido, una correcta aireación del suelo resulta fundamental para optimizar la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cloro, boro, zinc, cobre, manganeso e hierro. Adicionalmente, las formas orgánicas de nitrógeno y fósforo contenidas en el humus de lombriz son transformadas progresivamente en compuestos más fácilmente asimilables, lo que incrementa la eficiencia nutricional y favorece el desarrollo sostenido de los cultivos.

#### **2.1.6.1. Características del humus de lombriz**

Sotelo y Téllez (2007) indican que el humus de lombriz es un fertilizante orgánico por excelencia, es el producto que sale del tubo digestor de la lombriz y que tiene las siguientes características:

- Es un material de color oscuro, con un agradable olor a mantillo del bosque.
- Es limpio, suave al tacto y su gran bio estabilidad evita su fermentación o putrefacción.
- Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las raíces. Por otra parte, impide que éstos sean lavados por el agua de riego, manteniéndolos por más tiempo en el suelo.
- Influye en forma efectiva en la germinación de las semillas.

- Aumenta notablemente el porte de plantas, árboles y arbustos en comparación con otros ejemplares de la misma edad.
- Durante el trasplante previene enfermedades y evita el shock por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad.
- Se puede usar sin inconvenientes en estado puro y se encuentra libre de nemátodos. Favorece la formación de micorrizas.
- Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas a las plagas y agentes patógenos.
- Su pH neutro lo hace sumamente adecuado para ser usado con plantas delicadas.
- Aporta y contribuye al mantenimiento y desarrollo de la microflora y microfauna del suelo.
- Favorece la absorción radicular.
- Regula el incremento y la actividad de los microorganismos nitrificadores del suelo.
- Facilita la absorción de los elementos nutritivos por parte de la planta.
- La acción microbiana del humus de lombriz hace asimilable para las plantas minerales como el fósforo, calcio, potasio, magnesio y oligoelementos.
- Transmite directamente del terreno a la planta hormonas, vitaminas, proteínas y otras fracciones humificadoras.
- Aporta nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro, y los libera gradualmente, e interviene en la fertilidad física del suelo porque aumenta la superficie activa.
- Mejora las características estructurales del terreno, desligando los arcillosos y agregando los arenosos.
- Facilita y aumenta la eficacia del trabajo mecánico del terreno.

- Por los altos contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos, mejora las características químicas del suelo.

### **2.1.6.2. Ventajas del humus de lombriz en la agricultura**

El humus de lombriz es considerado uno de los fertilizantes orgánicos de mayor calidad, ya que corresponde al material resultante del proceso digestivo de la lombriz y presenta propiedades físicas, químicas y biológicas altamente favorables para el desarrollo vegetal. De acuerdo con Sotelo y Téllez (2007), este producto se caracteriza por su color oscuro y su olor agradable, similar al mantillo del bosque, así como por una textura suave y homogénea. Su elevada biostabilidad impide procesos de fermentación o putrefacción, lo que permite su aplicación directa al suelo sin generar efectos negativos.

Desde el punto de vista biológico, el humus de lombriz posee una alta actividad enzimática y una abundante población microbiana beneficiosa, lo que incrementa la solubilización de los nutrientes y facilita su inmediata absorción por las raíces. Además, esta actividad biológica contribuye a reducir la pérdida de nutrientes por lixiviación, prolongando su permanencia y disponibilidad en el suelo. Asimismo, su acción antibiótica natural incrementa la resistencia de las plantas frente al ataque de plagas y agentes patógenos, favoreciendo también la formación de asociaciones micorrízicas (Sotelo & Téllez, 2007).

En términos agronómicos, el uso de humus de lombriz ejerce un efecto positivo en la germinación de semillas y promueve un mayor vigor y porte en plantas, árboles y arbustos, en comparación con otros individuos de la misma edad. Durante las etapas de trasplante, su aplicación contribuye a la prevención de enfermedades y a la reducción del estrés causado por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. Asimismo, puede emplearse en estado puro sin riesgos, ya que se encuentra libre de nemátodos y presenta un pH cercano a la neutralidad, lo que lo hace especialmente adecuado para cultivos sensibles (Sotelo & Téllez, 2007).

Desde el enfoque edáfico, el humus de lombriz mejora de manera significativa las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Favorece la absorción radicular y regula la actividad de los microorganismos nitrificadores, facilitando la disponibilidad de elementos nutritivos esenciales. La acción microbiana asociada al humus

permite que minerales como fósforo, calcio, potasio, magnesio y diversos oligoelementos se encuentren en formas más asimilables para las plantas. Asimismo, actúa como vehículo de transferencia de hormonas, vitaminas, proteínas y fracciones humificadas desde el suelo hacia la planta (Sotelo & Téllez, 2007).

Finalmente, el humus de lombriz aporta nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y boro, liberándolos de manera gradual, lo que contribuye a una nutrición equilibrada y sostenida. Su elevado contenido de ácidos húmicos y fúlvicos mejora las características químicas del suelo, incrementa la superficie activa y optimiza la estructura edáfica, reduciendo la compactación en suelos arcillosos y mejorando la agregación en suelos arenosos. Estas propiedades facilitan además las labores mecánicas del terreno y fortalecen la fertilidad integral del suelo (Sotelo & Téllez, 2007).

#### **2.1.6.3. Desventajas del humus de lombriz en la agricultura**

El uso del humus de lombriz en los sistemas agrícolas presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas durante la planificación y ejecución del proceso productivo. Entre las principales desventajas se encuentra la necesidad de realizar una inversión inicial, asociada a la adquisición de equipos básicos, la implementación de infraestructuras mínimas y la disponibilidad de áreas adecuadas para el acopio de los materiales orgánicos de origen, el compost en etapa de maduración y el producto final estabilizado.

Asimismo, las condiciones climáticas desempeñan un papel determinante en la eficiencia del proceso de compostaje y vermicompostaje. En zonas con temperaturas bajas, el tiempo requerido para la descomposición de la materia orgánica tiende a prolongarse, lo que puede generar problemas operativos como el exceso de humedad, encharcamiento del sustrato y la aparición de condiciones anaerobias que afectan negativamente la actividad biológica del sistema (Von, 2000).

#### **2.1.6.4. Valor nutricional del humus de lombriz**

El humus de lombriz se distingue por su elevado valor como fertilizante orgánico, debido a que presenta concentraciones significativamente superiores de nutrientes esenciales en comparación con el humus presente en suelos fértiles. En particular, se

ha reportado que contiene hasta cinco veces más nitratos, el doble de calcio, aproximadamente dos veces y media más magnesio, siete veces más fósforo y once veces más potasio, lo que resalta su alto potencial para mejorar la nutrición vegetal y la fertilidad del suelo (Von, 2000). Mientras un suelo de alta calidad alberga entre 150 y 200 millones de microorganismos por gramo, el humus de lombriz llega a contener de 250 a 300 millones, en su mayoría benéficos para la planta.

Su composición se basa principalmente en carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, además de una abundante comunidad microbiana, cuya cantidad depende del sustrato utilizado en la alimentación de las lombrices. Medina y Quezada (2004) señalan que, al incorporarse al suelo, el humus aporta colonias microbianas que transforman los nutrientes minerales esenciales para la nutrición vegetal. Asimismo, contiene altos niveles de ácidos húmicos y fúlvicos, originados por la actividad microbiana durante el reposo del material, no por la digestión de la lombriz.

Los autores también indican que el humus de lombriz también produce fitohormonas como el ácido indolacético y el ácido giberélico, que estimulan el crecimiento y las funciones vitales de las plantas. Entre sus principales reguladores del crecimiento destacan:

- Auxinas, que favorecen el alargamiento celular, la floración y el tamaño de los frutos.
- Giberelinas, que estimulan la germinación de semillas, el desarrollo floral y el aumento del fruto.
- Citoquininas, que retrasan el envejecimiento de los tejidos, promueven la formación de tubérculos y la acumulación de almidón (Somarriba y Guzmán, 2004).

#### **2.1.6.5. Lixiviado del humus de lombriz**

El lixiviado del humus de lombriz, también conocido como humus líquido o extracto de lombrihumus, constituye un bioabono líquido de alto valor agronómico, debido a su contenido de nutrientes solubles y una elevada carga de microorganismos benéficos. Este producto puede aplicarse eficientemente mediante sistemas de riego presurizado, lo que permite su integración en sistemas de producción orgánica,

especialmente en cultivos desarrollados bajo condiciones de invernadero. Asimismo, su uso se ha extendido tanto a la aplicación directa al sustrato como a la aspersión foliar, con fines nutricionales y fitosanitarios (Milpa-Mejía, 2012).

Desde el punto de vista de su composición, el lixiviado de humus de lombriz es un bioabono de naturaleza coloidal, resultado del proceso digestivo de las lombrices, caracterizado por ser un líquido de color pardo a negruzco, inodoro y ligero. Contiene compuestos bioactivos como auxinas, ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales estimulan diversos procesos fisiológicos en las plantas, favoreciendo su crecimiento y desarrollo (Milpa-Mejía, 2012).

Diversos estudios han demostrado que los abonos orgánicos líquidos pueden aplicarse tanto al suelo, a través del agua de riego, como vía foliar, contribuyendo a la prevención de plagas y enfermedades. El potencial protector del lixiviado se atribuye a la presencia de comunidades microbianas compuestas por bacterias, hongos, protozoos, levaduras y actinomicetos, así como a sustancias químicas como fenoles y aminoácidos. Estos componentes actúan mediante distintos mecanismos, entre los que destacan el aumento de la resistencia de las plantas frente a infecciones, el antagonismo directo y la competencia con los patógenos por espacio y nutrientes, limitando o inhibiendo su desarrollo (Milpa-Mejía, 2012; Guanche, 2015).

El momento de recolección del lixiviado es un aspecto crítico para garantizar su calidad y seguridad de uso. Cuando se obtiene antes de que las lombrices hayan completado la digestión del material orgánico, puede contener sustancias tóxicas, concentraciones elevadas de sales o materia orgánica no estabilizada, capaces de alterar los procesos biológicos del suelo o causar efectos adversos en los cultivos. Por esta razón, se recomienda que los primeros lixiviados sean recirculados a través del lecho de vermicompostaje al menos en tres ocasiones, hasta alcanzar condiciones adecuadas de estabilidad (Milpa-Mejía, 2012).

En cuanto a su manejo agronómico, se sugiere la aplicación del lixiviado diluido en proporciones comprendidas entre 1:10 y 5:10 (uno a cinco litros de lixiviado en diez litros de agua), aplicando entre 15 y 20 litros de esta solución por cada 1 000

m<sup>2</sup> de cultivo, con una frecuencia aproximada de 15 a 20 días, incorporándolo al sistema de riego (Guanche, 2015).

En términos funcionales, el humus líquido de lombriz genera múltiples beneficios sobre el sistema suelo–planta, entre los cuales destacan el incremento de la biomasa microbiana del suelo, la estimulación del desarrollo radicular, la mejora en la retención de humedad, el aumento de la síntesis de clorofila y la regulación del pH en suelos ácidos. Asimismo, contribuye al incremento del rendimiento de los cultivos, reduce la dependencia de insumos químicos y puede ser absorbido tanto por las raíces como a través de las estomas foliares, lo que incrementa su eficiencia de aprovechamiento.

#### **2.1.7. *Cedrela odorata* (cedro colorado)**

El cedro colorado es una especie arbórea de gran porte que puede alcanzar entre 30 y 40 m de altura, con diámetros a la altura del pecho que oscilan aproximadamente entre 100 y 300 cm. Presenta un fuste predominantemente cilíndrico, cuya conformación está estrechamente relacionada con las características edáficas del sitio. En suelos poco profundos, la especie desarrolla un sistema radical superficial extenso, acompañado de aletones bien definidos; en contraste, en suelos profundos y fértiles, las raíces tienden a ser más profundas y el tronco adquiere una forma aflautada. La copa es amplia, abierta y poco densa (CATIE, 2003).

Las hojas son alternas y compuestas, de tipo paripinnado, conformadas por entre cinco y once pares de hojuelas de forma lanceolada a ovalada, con longitudes que varían entre 5 y 16 cm. Las inflorescencias se presentan en racimos terminales de aproximadamente 30 a 50 cm de longitud, con flores de color blanco verdoso ubicadas en los extremos de las ramas (CATIE, 2003).

El fruto corresponde a una cápsula leñosa que inicialmente es de color verde y que adquiere tonalidad café oscuro al alcanzar la madurez. Estas cápsulas son redondeadas en ambos extremos y se abren longitudinalmente en cinco valvas, cada una de las cuales contiene entre 30 y 40 semillas. Las semillas son planas, de forma ovoide y provistas de un ala, con un tamaño aproximado de 5 a 6 mm, alcanzando entre 18 y 20 mm al considerar el ala. La especie se identifica fácilmente por el olor característico similar al ajo que desprenden

las hojas al ser trituradas, especialmente durante el periodo de máxima floración, así como por la corteza de los individuos adultos, la cual es profundamente fisurada en sentido longitudinal (CATIE, 2003).

#### **2.1.7.1. Descripción taxonómica**

Cronquist (1981) y APG (2009) clasifican a la especie de la siguiente manera:

Reino : Plantae

División : Magnoliophyta (Cronquist, 1981)

Clase : Magnoliopsida

Sub clase : Asteridae

Orden : Sapindales (APG, 2009)

Familia : Meliaceae

Género : *Cedrela*

Especie : *Cedrela odorata* L.

#### **2.1.8. Calidad de plantones**

La calidad de los plantones se entiende como la aptitud que presentan las plantas para establecerse, adaptarse y desarrollarse adecuadamente bajo las condiciones edáficas y climáticas propias del sitio de plantación. Esta capacidad está determinada tanto por el potencial genético del germoplasma utilizado como por las prácticas y técnicas aplicadas durante su producción en vivero (Prieto et al., 2009).

En este sentido, una planta de calidad es aquella que posee atributos morfológicos y fisiológicos adecuados que le permiten garantizar un crecimiento satisfactorio

después de su trasplante al campo, reduciendo el riesgo de mortalidad y favoreciendo un establecimiento exitoso (Ramírez & Rodríguez, 2004).

La obtención de plantones con óptimas características morfofisiológicas requiere la aplicación de un manejo integral desde la etapa de vivero. Factores como el tipo y calidad del sustrato, el contenedor empleado, la procedencia y viabilidad de la semilla, el programa de nutrición y un manejo eficiente del riego constituyen elementos clave para producir plantas de alta calidad, manteniendo además costos de producción razonables.

Finalmente, la producción de plantones capaces de tolerar el estrés asociado a las condiciones edáficas y climáticas del sitio definitivo, con elevada eficiencia fotosintética y suficientes reservas nutricionales para sostener el crecimiento inicial, resulta fundamental para el establecimiento de bosques sanos, productivos y de buena calidad (Sáenz et al., 2010).

#### **2.1.9. Parámetros morfológicos**

Los parámetros morfológicos corresponden a un conjunto de atributos físicos y de respuesta que pueden ser medidos de manera directa e inmediata en las plantas, y que reflejan su comportamiento frente a determinadas condiciones ambientales. La morfología vegetal constituye la expresión externa de los procesos fisiológicos internos, los cuales están influenciados tanto por el ambiente como por las prácticas culturales aplicadas durante la fase de vivero, razón por la cual estos atributos suelen ser fácilmente cuantificables en las evaluaciones de calidad (Birchler et al., 1998).

Estos parámetros, definidos mediante observaciones físicas o visuales, son ampliamente utilizados en la determinación de la calidad de los plantones, debido a que permiten una interpretación práctica e intuitiva por parte del viverista. Diversos estudios han demostrado que los criterios morfológicos adoptados para la evaluación de la planta guardan una relación significativa con su desempeño posterior en el establecimiento en campo, particularmente en términos de supervivencia y crecimiento inicial.

Entre los principales atributos morfológicos considerados se incluyen la altura total, el diámetro del cuello de la raíz, la biomasa aérea y radical, el grado de fibrosidad

del sistema radicular y diversos índices de equilibrio entre las diferentes fracciones de la planta. Estos indicadores proporcionan información relevante sobre el vigor, la estabilidad y el potencial de adaptación de los plantones al sitio definitivo de plantación (Mexal & Landis, 1990; Orozco et al., 2010).

**Tabla 1.** Intervalos de calidad del plantón

Variables	Calidad y rango		
	Baja	Media	Alta
Altura (cm)	< 12,0	12,0 - 14,9	≥ 15,0
Diámetro (mm)	< 2,5	2,5 - 4,9	≥ 5,0
Índice de esbeltez	≥ 8,0	6,0 - 7,9	< 6,0
Relación parte aérea/parte radicular	≥ 2,5	2,0 - 2,4	< 2,0
Calidad de Dickson	< 0,2	0,2 - 0,4	≥ 0,5

Sáenz et al. (2010)

Dado que ningún atributo morfológico, considerado de manera aislada, resulta suficiente para describir integralmente la calidad de una planta, Prieto y Alarcón (1998) propusieron un índice de calidad que permite una evaluación más precisa de las diferencias morfológicas existentes dentro de una muestra, así como una mejor estimación del comportamiento de las plantas una vez establecidas en campo. Este índice integra diversos parámetros morfológicos, lo que posibilita una valoración más equilibrada del vigor y la conformación de la planta.

En este sentido, el índice de calidad se considera uno de los indicadores más adecuados para determinar la calidad de los plantones, ya que refleja la relación entre la distribución de la biomasa y la robustez estructural. De esta manera, se evita la selección de individuos desproporcionados y se reduce el descarte de plantas de menor altura que, pese a su tamaño, presentan mayor vigor y potencial de adaptación (García, 2007).

### 2.1.9.1. Altura

La altura del plantón es una variable morfológica estrechamente vinculada con su capacidad fotosintética y con la superficie disponible para la transpiración. En general, los individuos de mayor altura presentan una ventaja competitiva frente a la vegetación

circundante durante las etapas iniciales de establecimiento en campo; sin embargo, este atributo debe estar acompañado de un adecuado estado fisiológico y de un sistema radicular bien desarrollado para garantizar un desempeño satisfactorio. La altura suele expresarse en centímetros (cm) como unidad de medida estándar.

Este parámetro ha sido ampliamente utilizado como indicador de calidad, ya que permite estimar el crecimiento potencial en altura una vez que la planta es establecida en campo. No obstante, diversos estudios señalan que, si bien la altura es un buen predictor del crecimiento futuro, resulta limitada para predecir la supervivencia, por lo que su evaluación de manera aislada se considera insuficiente y debe complementarse con otros criterios morfológicos y fisiológicos para reflejar de forma más precisa la calidad real del plantón (Mexal & Landis, 1990).

Si bien la medición de la altura es sencilla y rápida, su valor informativo es restringido, dado que proporciona únicamente una aproximación general del área fotosintética y transpirante, sin considerar aspectos estructurales relevantes como la arquitectura del tallo o el equilibrio entre las diferentes partes de la planta (Birchler et al., 1998).

#### **2.1.9.2. Diámetro basal**

El diámetro a la altura del cuello del plantón constituye uno de los indicadores morfológicos más relevantes para evaluar su calidad, ya que está directamente relacionado con la capacidad de conducción de agua hacia la parte aérea, la resistencia mecánica del tallo y la tolerancia relativa a condiciones de estrés térmico durante el establecimiento en campo. Este parámetro se expresa comúnmente en milímetros (mm) y es ampliamente utilizado en la formulación de diversos índices de calidad de planta.

Diversos autores coinciden en señalar que el diámetro basal es el atributo morfológico con mayor capacidad predictiva de la supervivencia en campo, dado que define la robustez del tallo y se asocia estrechamente con el vigor general del plantón y el éxito de la plantación. En términos generales, los plantones que presentan diámetros superiores a 5 mm muestran una mayor resistencia al doblamiento y una mejor tolerancia frente a daños ocasionados por plagas y fauna nociva, aunque este umbral puede variar según la especie evaluada (Prieto et al., 2003; Prieto et al., 2009).

Asimismo, el diámetro basal permite estimar de manera indirecta el desempeño posterior de la planta en campo, especialmente cuando se analiza en conjunto con la biomasa radicular. En este sentido, se ha observado que el diámetro guarda una relación estrecha con el crecimiento en altura y que ambos parámetros, en conjunto, explican una parte importante de la producción de biomasa tanto aérea como radical. Estudios previos indican que los brinzales con mayor diámetro presentan tasas de supervivencia significativamente superiores, incrementándose entre 5 % y 7 % por cada milímetro adicional de diámetro. De acuerdo con estos resultados, se alcanzan niveles de supervivencia superiores al 80 % cuando los plántones presentan diámetros comprendidos entre 5 y 6 mm (Mexal & Landis, 1990).

### **2.1.9.3. Índice de esbeltez**

El índice de esbeltez (IE) se define como la relación entre la altura del plánton, expresada en centímetros, y el diámetro a la altura del cuello de la raíz, medido en milímetros. Este indicador permite evaluar el equilibrio entre la capacidad fotosintética y la resistencia estructural de la planta, proporcionando información relevante sobre su estabilidad y vigor (Sáenz et al., 2010).

En conjunto con los parámetros de altura y diámetro basal, el índice de esbeltez constituye un criterio fundamental para estimar el desempeño inicial de los plántones una vez establecidos en campo. Si bien, bajo condiciones ambientales favorables, las plantas de mayor tamaño suelen presentar un crecimiento más rápido, ello no garantiza necesariamente una mayor supervivencia. En muchos casos, individuos de menor tamaño, pero con una mejor relación altura–diámetro, muestran una mayor capacidad de adaptación y persistencia en el sitio de plantación (García, 2007).

El índice de esbeltez también se asocia con la tolerancia de las plantas frente a factores ambientales adversos, tales como el viento, la sequía o las bajas temperaturas. Valores elevados de este índice indican plantas excesivamente delgadas, con menor resistencia mecánica y mayor susceptibilidad al estrés en condiciones de campo, lo que puede comprometer su supervivencia y desarrollo posterior (Piña & Arboleda, 2010).

#### **2.1.9.4. Relación parte aérea/parte radicular**

La producción de biomasa constituye un indicador relevante del grado de desarrollo alcanzado por la planta durante su etapa en vivero. El peso seco, tanto de la biomasa aérea como del sistema radical, presenta una alta correlación con la supervivencia en campo, comparable a la observada para otros parámetros morfológicos como el diámetro del tallo o del cuello de la raíz. Asimismo, se ha evidenciado una estrecha relación entre el diámetro basal y la cantidad de biomasa acumulada en la parte aérea y en las raíces, lo que refuerza su utilidad como criterio de evaluación (Mexal & Landis, 1990).

La relación parte aérea/parte radicular se determina a partir del cociente entre el peso seco de la fracción aérea y el peso seco del sistema radical. Un valor igual a uno indica un equilibrio entre ambas fracciones; valores inferiores a uno reflejan una mayor proporción de biomasa subterránea, mientras que valores superiores a uno evidencian un predominio de la biomasa aérea. Desde el punto de vista de la calidad del plantón, se considera que una relación adecuada debe situarse generalmente entre 1,5 y 2,5, ya que valores más elevados indican una desproporción estructural y un sistema radical insuficiente para sostener adecuadamente las demandas fisiológicas de la parte aérea, especialmente en ambientes con baja disponibilidad hídrica (Rodríguez, 2008; Orozco et al., 2010).

Este parámetro resulta particularmente útil como predictor del potencial de supervivencia en sitios con condiciones áridas o de estrés hídrico. En estos ambientes, los plantones que presentan valores bajos de la relación parte aérea/parte radicular tienden a mostrar mayores tasas de supervivencia, debido a que poseen una menor superficie transpirante en relación con la capacidad de absorción de agua y nutrientes del sistema radical (Orozco et al., 2010; Villalón-Mendoza et al., 2016).

#### **2.1.9.5. Calidad de Dickson**

El índice de calidad de Dickson (ICD) es un indicador integral que combina la masa seca total del plantón con dos relaciones morfológicas clave: el índice de esbeltez y la relación entre la biomasa seca aérea y la biomasa seca radical, también conocida como índice tallo-raíz. A través de esta integración, el ICD permite evaluar de manera conjunta

la robustez estructural y el equilibrio en la distribución de la biomasa del plantón, ofreciendo una apreciación más completa de su calidad (Dickson et al., 1960).

Este índice resulta particularmente útil para evitar la selección de plantas con un crecimiento desproporcionado y para no descartar individuos de menor altura que, pese a su tamaño, presentan un mayor vigor y una mejor conformación morfológica. En función de evaluaciones realizadas en plantaciones forestales, se ha propuesto para especies latifoliadas un valor mínimo de 0,2 como referencia de calidad aceptable en plantones producidos en contenedores de hasta 60 mL (García, 2007).

El índice de Dickson combina parámetros relacionados con la longitud y el peso de la planta, lo que permite una evaluación más equilibrada del desarrollo general del plantón. Valores elevados del ICD se asocian con plantas de mayor calidad, ya que reflejan simultáneamente un crecimiento adecuado y una distribución equilibrada de la biomasa entre las fracciones aérea y radical, características que favorecen el establecimiento y el desempeño inicial en campo (Rueda et al., 2012; Villalón-Mendoza et al., 2016).

#### **2.1.9.6. Índice de lignificación**

El índice de lignificación es un indicador basado en parámetros de peso que permite estimar el grado de endurecimiento estructural de los plantones. Valores elevados de este índice se asocian con una mayor resistencia a daños mecánicos, lo que favorece la tolerancia de las plantas durante las labores de manipulación, transporte y manejo previo a su establecimiento definitivo en campo (Orozco et al., 2010).

## **2.2. Estado del arte**

Álvarez y Llerena-Ramos (2022) evaluaron el uso de humus líquido (HL) en plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*), encontrando mejoras significativas en la longitud de raíz y tallo, diámetro del tallo, número de hojas y peso fresco y seco, en comparación con el control. El tratamiento T2 obtuvo los mejores resultados, con valores de 12,23 mm en longitud de raíz, 18,17 mm en longitud del tallo y 0,48 mm en diámetro del tallo. Así, el humus líquido se presenta como una alternativa eficaz para optimizar la calidad de las plántulas de tomate.

Álvarez et al. (2022) evaluaron dos tipos de abono foliar líquido orgánico en tres dosis (50, 100 y 150 mL/20 L de agua) sobre plántones de *Cedrela odorata L.* bajo un diseño factorial  $2 \times 3$  con 525 individuos durante cinco meses. El mayor crecimiento en altura (19,70 cm) se registró en T5 (150 mL de abono foliar líquido de estiércol), y el menor (18,76 cm) en T1 (50 mL de abono foliar líquido de estiércol), ambos con calidad alta. El mayor diámetro (8,32 mm) se obtuvo en T4 (100 mL de abono foliar líquido de humus) y el menor (7,41 mm) en el control. La relación altura/diámetro indicó calidad alta, mientras que la interacción tallo/raíz mostró calidad alta en la mayoría de los tratamientos, excepto T2 y T5 (calidad media). El Índice de Dickson señaló calidad media en el conjunto de plántones.

Palacios et al. (2020) evaluaron el lixiviado obtenido con lombriz roja californiana, usando estiércol ovino como base y distintos tratamientos: T<sub>1</sub> (melaza), T<sub>2</sub> (suero de leche), T<sub>3</sub> (infusión de gobernadora), T<sub>4</sub> (mezcla de los tres) y T<sub>5</sub> (testigo). Se aplicaron tres dosis (baja, media y alta) y luego se analizaron las concentraciones de micro y macronutrientes. Los resultados mostraron diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ): T<sub>5</sub> solo destacó en cobre (Cu), mientras que T<sub>1</sub> presentó los mayores valores en manganeso (Mn), níquel (Ni), boro (B), molibdeno (Mo), calcio (Ca), azufre (S) y potasio (K). En conclusión, los tratamientos T<sub>1</sub>–T<sub>4</sub> mejoraron el valor nutricional del biofertilizante, siendo T<sub>1</sub> el más efectivo.

Luna y Fontana (2020) evaluaron la calidad y morfología de *Cedrela fissilis* en vivero bajo dos sistemas de producción (siembra directa y repique en contenedores) y tres sustratos (arena, corteza de pino compostada y vermiculita). A los 80 días midieron variables morfológicas y de calidad de planta. Los resultados mostraron que la vermiculita favoreció la altura, diámetro de cuello, longitud radical, biomasa seca, tasa de crecimiento, coeficiente de esbeltez e índice de Dickson, además de reducir la mortandad. En cuanto al sistema de producción, la siembra directa en contenedores fue la más ventajosa en la mayoría de los parámetros.

Briceño y Pérez (2017) estudiaron el uso de humus de lombriz roja californiana en cafetales, aplicando 2 lb/planta en fase de crecimiento, lo que aportó nutrientes como N (1,5 %), Ca (8 %), Mg (0,8 %), P (1,35 %) y K (1,2 %). Comparado con fertilizantes químicos, el abono orgánico redujo costos (2,450 vs. 3,890 córdobas) y duplicó el rendimiento (16 vs. 8 qq/mnz), generando una ganancia de 331,520 córdobas. Concluyen que la lombricultura mejora la producción, es ambientalmente favorable y beneficia al agricultor.

Villalobos et al. (2016) señalaron que muchas reforestaciones con *Cedrela odorata* fracasan por el uso de plántulas de baja calidad, por lo que evaluaron el efecto del volumen de envase (bolsa de 500 mL y tubete de 380 mL) y del hidrogel (0, 2 y 4 g L<sup>-1</sup>) sobre su morfología, estado nutrimental y desempeño en campo. En vivero, las mejores plántulas se obtuvieron en bolsas de 500 mL con 4 g L<sup>-1</sup> de hidrogel, aunque en campo destacaron las producidas en envases de 500 mL sin hidrogel. Se concluye que el volumen de envase influye directamente en la calidad de planta.

Santiago y Nauhat (2016) evaluaron diferentes dosis de lixiviado de lombriz (*Eisenia foetida*) en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Los tratamientos con vermicomposta más lixiviado aplicado al sustrato y de forma foliar no mostraron efectos en la altura, diámetro de tallo ni número de flores. En cambio, con composta más lixiviado se hallaron diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ): el tratamiento T5 (25% suelo + 75% composta + lixiviado en tronco 3:20) registró el mayor diámetro de tallo (11,6 cm), mientras que T2 (1:20 en tronco + 1:20 foliar) presentó el menor (9,7 cm). Respecto al número de flores, T2 alcanzó el valor más alto (95 flores) y T4 (2:20 en tronco + 2:20 foliar) el más bajo (16 flores).

López (2015) analizó el crecimiento, sobrevivencia y calidad de plántulas de *Cedrela odorata* en distintos sustratos, bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. El tratamiento T3 (30% aserrín + 30% gallinaza + 30% tierra natural + 10% arena) mostró el mayor incremento en altura (14,20 cm) y diámetro (1,90 mm), así como la mayor sobrevivencia (32,28%). En general, la calidad de planta se clasificó como regular.

Justino (2015) evaluó la morfología y biomasa de *Cedrela odorata* L. en vivero utilizando distintos abonos orgánicos (gallinaza, humus de lombriz, cuyasa y estiércol de vaca) en dosis de 14, 18 y 22%, mezclados con 70% de suelo agrícola y 30% de arena, totalizando 12 tratamientos y 360 plantas. El análisis estadístico (ANVA y prueba de Duncan,  $\alpha = 0,05$ ) mostró que el humus de lombriz fue el abono más efectivo. Los mejores resultados se obtuvieron con 18 y 22%, destacando T1 (22%) y T6 (18%), con mayores valores de altura (76,67 y 76,53 cm) y diámetro (9,85 y 10,46 mm). En biomasa, T6 (18%) presentó el mejor rendimiento total (16,18 g), concluyendo que el humus de lombriz al 18% optimiza tanto el crecimiento como la producción de biomasa.

Calixto et al. (2015) evaluaron la fertilización como alternativa para controlar plagas en *Cedrela odorata*, analizando los efectos de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el crecimiento y la incidencia de *Hypsipyla grandella*. Durante un año midieron periódicamente altura, diámetro y variables relacionadas con el daño de la plaga. Los resultados mostraron que el nitrógeno favoreció el crecimiento y el potasio redujo el ataque, aunque los efectos fueron limitados por las condiciones de la plantación. Aun así, la fertilización evidenció potencial como estrategia de manejo contra *H. grandella*.

Zacarías (2015) evaluó la calidad nutricional de lombricompost producido con *Eisenia foetida* en seis sustratos: estiércol bovino, equino, pulpa de café, desechos de cocina, y mezclas de estiércol con pulpa. Bajo un diseño de bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones, analizó valor nutricional, rendimiento, población de lombrices y rentabilidad. Los mejores resultados se obtuvieron con la mezcla de pulpa de café y estiércol equino, al presentar mayores contenidos de N, P, K y materia orgánica, alta conversión en lombricompost e incremento poblacional de lombrices, recomendándose para la fertilización del café.

Villacorta (2014) reportó que el tratamiento T3, consistente en la aplicación de 16 kg de estiércol de vacuno combinado con lombrices *Eisenia foetida* por planta, presentó el mejor desempeño en las principales variables agronómicas evaluadas. Dicho tratamiento mostró resultados superiores en la altura de planta, el diámetro foliar y el peso del fruto con pecíolo por planta, considerando las ocho cosechas efectuadas durante el estudio.

Asimismo, al analizar el rendimiento acumulado de frutos más pecíolos tanto a nivel de parcela como por hectárea, el tratamiento T3 (16 kg de estiércol de vacuno por planta) se posicionó como el más eficiente. Estos resultados evidencian que *Capsicum spp.*, conocido como “ají motelito”, responde favorablemente a mayores dosis de abono orgánico, optimizando su rendimiento productivo bajo las condiciones agroclimáticas de la zona de Zungarococha.

Borges et al. (2014) evaluaron la fertilización foliar con humus líquido (HL) de lombriz roja californiana en estacas de morera, aplicando concentraciones de 0, 10, 25 y 50% cada 7 o 15 días bajo un diseño factorial  $4 \times 2$  con 80 plantas. A los 60 días midieron variables de hojas, ramas y raíces. Los mejores resultados se obtuvieron con 50% de HL, que incrementó significativamente el peso fresco y seco de hojas (39,9 y 9 g) y la longitud de ramas (37,2 cm), mientras que la aplicación cada 7 días favoreció el peso fresco y seco de raíces (7,8 y 1,1 g).

Concluyen que el HL actúa como promotor de crecimiento y mejora la calidad de plantas para su trasplante.

Díaz et al. (2013) evaluaron en vivero tres sustratos orgánicos (80% sustrato tradicional + 20% cascarilla de arroz, bagazo de caña o compost de cacao) frente al sustrato tradicional en plántulas de *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*. A los 90 días, el compost de cacao mostró los mejores resultados en crecimiento y en el Índice de Calidad de Dickson, lo que se atribuye a un mayor aporte de cationes y a la mejora de las propiedades físicas del suelo.

Castañeda et al. (2011) destacan que la fertilización, aunque esencial en el cultivo de rosas, puede generar impactos ambientales, por lo que evaluaron el uso del fertilizante orgánico líquido de lombriz San Rafael combinado con fertilización química completa o reducida en un 25%. En rosas cv. *Classy* midieron productividad, calidad de tallos, descabece y análisis foliares. No hallaron diferencias significativas en calidad ni en análisis foliares, pero sí en productividad, siendo mayor con la fertilización completa más el orgánico. En cambio, el descabece fue menor con la fertilización reducida más el orgánico.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en el Instituto de Investigación en la Amazonía Peruana (IIAP), ubicada carretera Fernando Belaunde Terry Km. 25 - Interior 1 km, Caserío Saipai, Distrito de Pueblo Nuevo, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco. El vivero forestal temporal (7 m de ancho, 15 m de longitud, 2,5 m de altura, y techo con malla raschel al 80% de luz) se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM: 388085 Este y 8990909 Norte.

Según la Estación Meteorológica Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) el clima es característico de las zonas del trópico húmedo; la temperatura anual medio es de 24 °C; mientras que las precipitaciones están por encima de los 2 630 mm/año.

De acuerdo con Holdridge (1987) la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo y el diagrama bioclimático, la zona de estudio se encuentra dentro de la zona ecológica: Bosque muy húmedo – Premontano Tropical (bmh – PT)

Año	Periodo	TEMPERATURA DEL AIRE °C			Precipitación mm/mes
		Máxima	Mínima	Media	
2024	Febrero	30.4	21.9	26.1	286.7
	Marzo	31.0	22.0	26.5	277.4
	Abril	31.5	22.3	26.9	119.5
	Mayo	31.7	22.3	27.0	211.0
	PROMEDIO	31.2	22.1	26.6	894.6

Fuente: Gabinete de Meteorología y climatología UNAS.

**Figura 2.** Precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima total mensual (mm) de los meses febrero, marzo, abril y mayo.

## **3.2. Materiales y métodos**

### **3.2.1. Material vegetativo**

Plántulas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) obtenidos de la cama de germinación del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).

### **3.2.2. Materiales y equipos**

Para la ejecución de la investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos: balanza digital con precisión de 0,01 g, Estufa, vernier digital, regla de 50 cm, palas, carretilla, tamizador, regadora, bolsas de polietileno de 5" x 6", machete, micas, tijera, rafia, lapiceros, plumón indeleble, estacas de madera, triplay formato de evaluación.

### **3.2.3. Insumos**

Se utilizaron sustrato proporcionados por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y abono de humus líquido de *Eisenia foetida* S. adquiridos de la empresa Organic Amazon PERÚ S.A.C.

### **3.2.4. Actividades previas**

#### **3.2.4.1. Obtención de semillas**

Se realizaron las coordinaciones previas para la recolección de semillas de *C. odorata* L. (cedro colorado), tales como la colecta de 1 kilogramo de semillas, de esta se utilizó 150 gramos que aproximadamente son 3000 semillas, se consideró un 70% de supervivencia de las plántulas, para ello se solicitó autorización al encargado del Jardín Botánico de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNAS, se prosiguió con el secado y almacenamiento en el laboratorio del IIAP.

Los materiales, equipos e insumos que se utilizaron en la investigación se solicitaron de forma previa al director encargado del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), así como el soporte técnico en el transcurso de la investigación.

#### **3.2.4.2. Acondicionamiento de la cama y germinación de semillas**

Las camas de germinación tuvieron dimensiones de 1 m de ancho por 3 m de longitud y contaron con una base de mallas metálicas que favorecieron la circulación del aire. El techo fue regulable, lo que permitió acondicionarlo según la incidencia solar (80% de luz con malla raschel) y la intensidad de la precipitación propia de la zona climática del sector Saipai. Se utilizó 3000 semillas de cedro aproximadamente y como sustrato para la germinación de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) se empleó musgo blanco. Antes de colocar las semillas en las camas de germinación, estas fueron desinfectadas con HOMAI (fungicida al 3%), aplicándose 3 gramos de producto por cada 100 gramos de semillas. No se realizó ningún tratamiento pregerminativo adicional.

#### **3.2.5. Preparación del sustrato**

El sustrato fue proporcionado por el centro experimental del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). Posteriormente, el sustrato fue tamizado y desinfectado con el fin de evitar la presencia de hongos y nemátodos.

#### **3.2.6. Llenado y acomodo de bolsas**

El llenado de cada una de las bolsas con los respectivos tratamientos se realizó compactándolas adecuadamente para evitar la formación de cámaras de aire. Posteriormente, las bolsas fueron colocadas en las camas de repique y codificadas de acuerdo con los tratamientos planteados.

#### **3.2.7. Repique de plántulas, labores silviculturales y aplicación del humus líquido**

Al finalizar el período de germinación de las semillas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), y una vez que las plántulas presentaron dos hojas verdaderas, estas fueron repicadas en las bolsas con el fin de continuar su crecimiento y realizar

las evaluaciones correspondientes. Para la obtención del humus líquido se adquirió 4 galones de 3.5 L. cada uno de la empresa Organic Amazon PERÚ S.A.C.

De acuerdo con Tut (2014), en la etapa inicial del experimento la aplicación del riego fue constante, efectuándose dos veces al día, principalmente en los días soleados. El riego se llevó a cabo en horas de la mañana, antes de la salida del sol, y en la tarde, después de la puesta del sol, con el propósito de evitar el estrés de las plantas. Conforme las plantas crecieron, la intensidad de riego se redujo, y durante la época lluviosa no fue necesario.

Asimismo, se realizó el deshierbe y la eliminación de malezas tanto en las bolsas como en las camas de repique. La fertilización se aplicó con mochila de aspersión en dosis de 50.00, 100.00 y 150.00 ml·20 L<sup>-1</sup> de humus líquido de *Eisenia foetida* S., bajo dos intervalos de abonamiento (7 y 14 días), sobre el área foliar de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero durante un período de cuatro meses.

### **3.2.8. Metodología**

#### **3.2.8.1. Componentes de investigación**

##### **a. Tipo de investigación**

La investigación es aplicada porque tuvo el propósito principal de dar solución a problemas de índole prácticos y se caracterizará por la aplicación de conocimientos teóricos, científicos y experimentales en el proceso de abonamiento con *Eisenia foetida* S. para la obtención de plántones de calidad de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en distintos tratamientos.

##### **b. Nivel de investigación**

El nivel investigación es explicativo experimental porque el procedimiento que se siguió ayudó a verificar el nivel de humus líquido de *Eisenia foetida* S.

adecuado que se recomendará a utilizar para la obtención de plantones de calidad de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

### **c. Método de investigación**

El método de investigación es cuantitativo porque la investigación se centró en la recolección periódica de variables morfológicas y el análisis de datos numéricos con el fin de explicar, describir o predecir fenómenos.

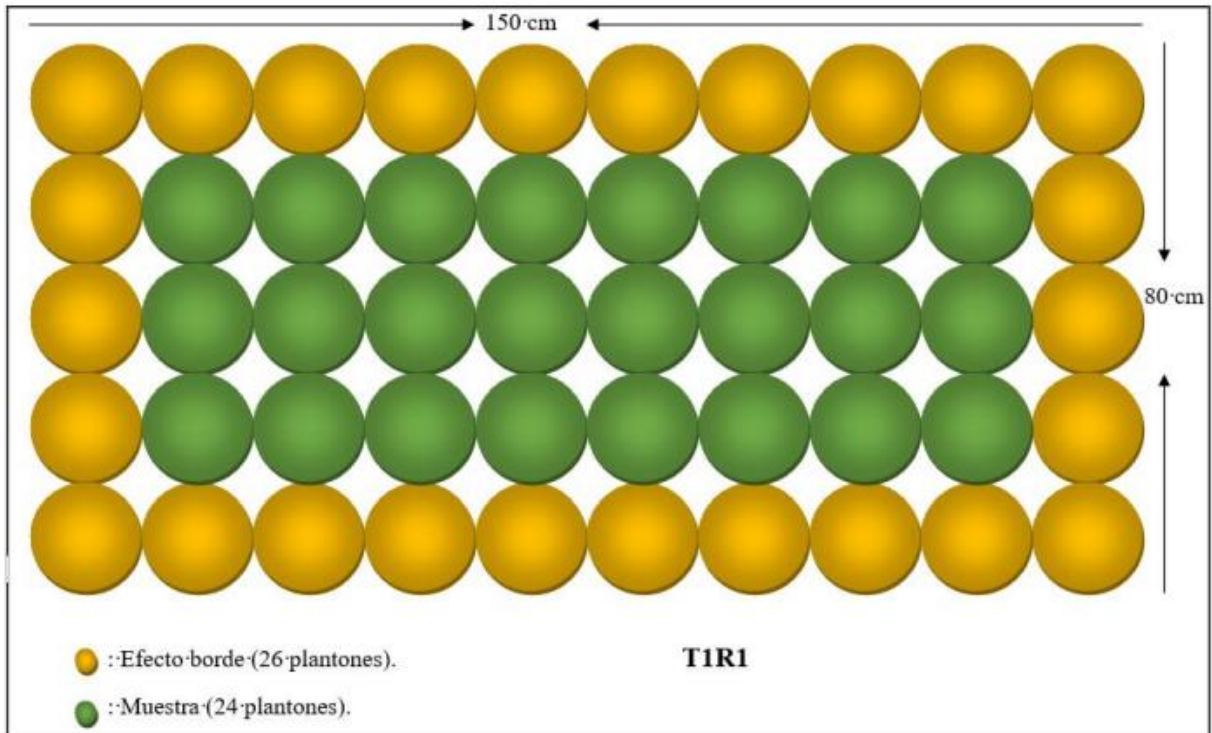
#### **3.2.8.2. Variables de investigación**

Las variables de la investigación son las siguientes:

- Variables independientes: niveles de humus líquido (control = agua destilada, 50,00 mL/20 L, 100,00 mL/20 L y 150,00 mL/20 L), y los métodos empleados (7 y 14 días de abonamiento).
- Variables dependientes: atributos morfológicos (altura y diámetro basal y supervivencia), e índices de calidad morfológica (índice de esbeltez (IE) o relación altura / diámetro basal, relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR), índice de Calidad de Dickson (ICD) e índice de lignificación (IL)).

#### **3.2.8.3. Población, muestra y tipo de muestreo**

Estuvo conformada por 1600 plantones de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado). Se utilizaron 800 plantones para el Experimento 1 (intervalo de 7 días de abonamiento), y 800 plantones para el Experimento 2 (intervalo de 14 días de abonamiento). La muestra estuvo conformada por 768 plantones de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado).



**Figura 3.** Diseño de la muestra para la investigación.

#### 3.2.8.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental porque se caracteriza por la manipulación intencional de una o más variables independientes con el propósito de observar su efecto o relación sobre una o más variables dependientes. Este tipo de diseño implica control y asignación aleatoria, permitiendo al investigador crear condiciones específicas y compararlas con grupos de control (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). En este sentido, en la investigación se realizó la manipulación de variables. Asimismo, se aplicó la prueba de normalidad y posteriormente el análisis de varianza para comparar los tratamientos de estudio.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial, con 8 tratamientos y cuatro repeticiones por cada tratamiento distribuidas al azar. Se emplearon 24 plantas por cada repetición y 768 en todo el experimento.

### 3.2.8.5. Tratamientos

Los tratamientos se formaron por las combinaciones de cada factor en estudio (**Tabla 2**).

**Tabla 2.** Combinaciones de cada factor en estudio

Código	Dosis	Tiempo (días)	Combinación
T1	0	7	<i>C. odorata</i> tratada con agua destilada cada 7 días
T2	0	14	<i>C. odorata</i> tratada con agua destilada cada 14 días
T3	50	7	<i>C. odorata</i> tratada con 50 mL de humus cada 7 días
T4	50	14	<i>C. odorata</i> tratada con 50 mL de humus cada 14 días
T5	100	7	<i>C. odorata</i> tratada con 100 mL de humus cada 7 días
T6	100	14	<i>C. odorata</i> tratada con 100 mL de humus cada 14 días
T7	150	7	<i>C. odorata</i> tratada con 150 mL de humus cada 7 días
T8	150	14	<i>C. odorata</i> tratada con 150 mL de humus cada 14 días

T <sub>4</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>5</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>5</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>6</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>6</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>4</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>5</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>5</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>8</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>6</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>6</sub> R <sub>4</sub>
T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>4</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>7</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>7</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>8</sub> R <sub>2</sub>
T <sub>7</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>7</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>8</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>8</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	T <sub>4</sub> R <sub>3</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	

**Figura 4.** Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.

### 3.2.8.6. Procesamiento de datos

Los datos obtenidos a través del registro de datos fueron organizados y codificados en matrices elaboradas en hojas de cálculo de Microsoft Excel, para posteriormente ser procesados mediante el software estadístico Infostat.

Se realizó un análisis de varianza (ANVA) para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos ( $\alpha = 0,05$ ) en los distintos parámetros evaluados, utilizando el modelo estadístico de un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial de  $4A \times 2B$ . Esto se debió a que en la investigación se trabajó con cuatro niveles de

abonamiento con humus líquido (0, 50 mL, 100 mL y 150 mL) y dos intervalos de aplicación, reportándose tanto los efectos individuales como la interacción entre los factores.

Se establecieron ocho tratamientos con cuatro repeticiones en cada una, siendo cada repetición una cama con 50 plántones (evaluándose 24 plántones y la diferencia considerándose como efecto borde); el modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (A \times B)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \dots \dots (5)$$

$i = 1, 2, 3, 4$  : niveles de humus líquido.

$j = 1, 2$  : intervalos de abonamiento.

$k : 1, 2, 3, \dots, 12$ : plántones/humus líquido/intervalo de abono.

Donde:

$Y_{ijk}$  : Variable de respuesta en estudio del k-ésimo plánton correspondiente al j-ésimo, intervalo de abonamiento al cual se le aplicará el i-ésimo humus líquido.

$\mu$  : Efecto de la media general.

$A_i$  : Efecto del i-ésimo humus líquido.

$B_j$  : Efecto del j-ésimo intervalo de abonamiento.

$(A \times B)_{ij}$  : Efecto de interacción del i-ésimo humus líquido por el j-ésimo intervalo de abonamiento.

$\varepsilon_{ijk}$  : Error del experimento.

Bajo el supuesto básico de la investigación, y utilizando el DCA, se determinó el efecto de los niveles de humus líquido para su aplicación óptima, con el fin de asegurar la calidad de los plántones de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero.

Asimismo, se realizó el análisis de varianza para identificar las diferencias significativas entre los tratamientos (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** ANVA para la evaluación de tratamientos

FV		GL	SC	CM	Valor F
Tratamiento	A	GL <sub>A</sub>	SC <sub>A</sub>	CM <sub>A</sub>	Fc
	B	GL <sub>B</sub>	SC <sub>B</sub>	CM <sub>B</sub>	Fc
	A x B	GL <sub>A x B</sub>	SC <sub>A x B</sub>	CM <sub>A x B</sub>	Fc
Error		GL <sub>E</sub>	SC <sub>E</sub>	CM <sub>E</sub>	
Total		GL <sub>Total</sub>	SC <sub>Total</sub>	CM <sub>Total</sub>	

En caso de diferencias significativas ( $p$ -valor < 0,05), se procedió a realizar el análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, para evaluar el mejor tratamiento o combinación.

### 3.2.9. Evaluación de la supervivencia y atributos morfológicos de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero

Luego de que las plantas quedaron establecidas en sus respectivas bolsas tras la fase de repique, se efectuó el conteo de los individuos sobrevivientes con el fin de obtener el porcentaje de supervivencia en cada uno de los tratamientos. Para dicho cálculo se empleó la siguiente Ecuación 1 (Linares, 2005).

$$S(\%) = \left( \frac{Pv}{Pv + Pm} \right) \times 100 \dots \dots (1)$$

Donde:

S(%) : Supervivencia (%).

Pv : Plantas vivas.

Pm : Plantas muertas.

El diámetro a la altura del cuello (mm) se midió con la ayuda de un vernier, mientras que la altura del tallo (cm), desde el cuello de la raíz hasta la punta de la yema terminal, se registró con una regla metálica (Landis et al., 2010). El período de evaluación para *C. odorata* L. (cedro colorado) tuvo una duración aproximada de cuatro meses, realizándose mediciones en intervalos de 7 y 14 días.

### **3.2.10. Determinación de los índices de calidad morfológica de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero**

Se evaluó el efecto de tres niveles de aplicación de humus líquido de *Eisenia foetida* S. (lombriz roja), en dosis de 50, 100 y 150 mL·20 L<sup>-1</sup>, bajo intervalos de abonamiento de 7 y 14 días, sobre los índices de calidad morfológica de *C. odorata* L. (cedro colorado). Las evaluaciones se realizaron cada 30 días durante un período de cuatro meses.

El número de plantones por tratamiento fue de 24, y las variables evaluadas correspondieron a: altura del plantón en centímetros (cm), diámetro en el cuello de la raíz en milímetros (mm), peso seco de la biomasa aérea en gramos (g), peso seco de la biomasa radical en gramos (g) y peso fresco total en gramos.

A partir de estas variables se calcularon los índices de calidad morfológica siguientes:

#### **3.2.10.1. Índice de esbeltez (IE) o relación altura / diámetro basal**

El índice de esbeltez se determinó en función de la altura y el diámetro evaluados en la fase de vivero, considerando la siguiente Ecuación 2:

$$IE = \frac{AA}{DC} \dots \dots (2)$$

Donde:

IE : Índice de esbeltez.

AA : Altura de la parte aérea (cm).

DC : Diámetro en el cuello de la raíz (mm).

### 3.2.10.2. Relación parte aérea / parte radicular

Una vez obtenido el peso húmedo y clasificadas las muestras, estas fueron colocadas en la estufa a una temperatura de 70 °C. Transcurridas 72 horas se registró el primer peso seco, alcanzándose un peso constante 24 horas después (96 horas en estufa).

La relación aérea-radical (RAR) se determinó en función de la biomasa seca de la parte aérea y de la biomasa radical de los plantones muestreados, considerando la siguiente Ecuación 3:

$$RAR = \frac{PSA}{PSR} \dots \dots (3)$$

Donde:

RAR : Relación aérea-radical.

PSA : Peso seco aéreo (g).

PSR : Peso seco radical (g).

### 3.2.10.3. Índice de calidad de Dickson

Una vez determinado los anteriores atributos morfológicos y físicos se reemplazaron en la siguiente Ecuación 4:

$$ICD = \frac{PSTP}{\frac{A}{D} + \frac{PSA}{PSR}} \dots \dots (4)$$

Donde:

ICD : Índice de calidad de Dickson,

PSTP: Peso seco total de la planta (g).

A : Altura de la planta (cm).

D : Diámetro de la planta (mm).

PST : Peso seco aéreo (g).

PSR : Peso seco radical (g).

#### 3.2.10.4. Índice de lignificación

Para hallar el porcentaje de lignificación se utilizó la siguiente

Ecuación (5):

$$IL = \left( \frac{PST}{PFT} \right) \times 100 \dots \dots (5)$$

Donde:

IL : Índice de lignificación.

PST : Peso seco total (g).

PFT : Peso fresco total (g).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Efecto de niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny sobre la altura, diámetro basal y supervivencia de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero

La **Tabla 4** muestra que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a las variables dasométricas evaluadas en las plantas evidencia que ambas presentan una distribución normal. En el caso de la altura, se obtuvo un valor de media de 56,25 cm y una desviación estándar de 11,4 cm, con un estadístico  $W^* = 0,97$ , el cual es cercano a 1, lo que indica un buen ajuste a la normalidad. De manera similar, el diámetro basal mostró una media de 9,14 mm y una desviación estándar de 1,01 mm, alcanzando un valor de  $W^* = 0,99$ , aún más próximo a 1, confirmando la normalidad en esta variable. En consecuencia, se puede afirmar que los datos de altura y diámetro basal de las plantas siguen una distribución normal, lo cual respalda la pertinencia de aplicar pruebas estadísticas de tipo paramétrico en el análisis posterior.

**Tabla 4.** Prueba de normalidad para las variables altura y diámetro basal de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Variables	Media	Desviación estándar	W*
Altura (cm)	56,25	11,4	0,97
Diámetro basal (mm)	9,14	1,01	0,99

El análisis de varianza (**Tabla 5**) evidencia comportamientos diferenciados de los factores evaluados sobre las variables altura y diámetro basal de las plantas de *Cedrela odorata* L. En el caso de la altura las plantas, la dosis de humus presentó un valor de  $p = 0,2708$ , superior a 0,05, indicando que no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable. Sin embargo, la frecuencia de aplicación mostró un  $p = 0,0018$ , menor que 0,05, lo que demuestra un efecto significativo, siendo la aplicación semanal más favorable para el incremento de altura. Además, la interacción entre la dosis de humus y la frecuencia de aplicación presentó un  $p = 0,0002$ , también menor que 0,05, lo que evidencia un efecto combinado altamente significativo; es decir, la respuesta en altura depende no solo de cada factor individual, sino también de la forma en que ambos interactúan.

Por otro lado, en la variable diámetro basal de las plantas, los resultados mostraron que ni la dosis de humus ( $p = 0,9062$ ) ni la frecuencia de aplicación ( $p = 0,5658$ ) ejercieron un efecto significativo, al presentar valores mayores a 0,05. De igual modo, la interacción entre ambos factores registró un  $p = 0,5317$ , indicando que no existe un efecto combinado relevante sobre el diámetro basal de las plantas. En conjunto, estos resultados sugieren que mientras la frecuencia y la interacción con la dosis influyen de manera importante en el crecimiento en altura, el diámetro basal parece ser menos sensible a las variaciones en la aplicación del humus de lombriz.

**Tabla 5.** Análisis de varianza para la variable altura y diámetro basal de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en la última evaluación

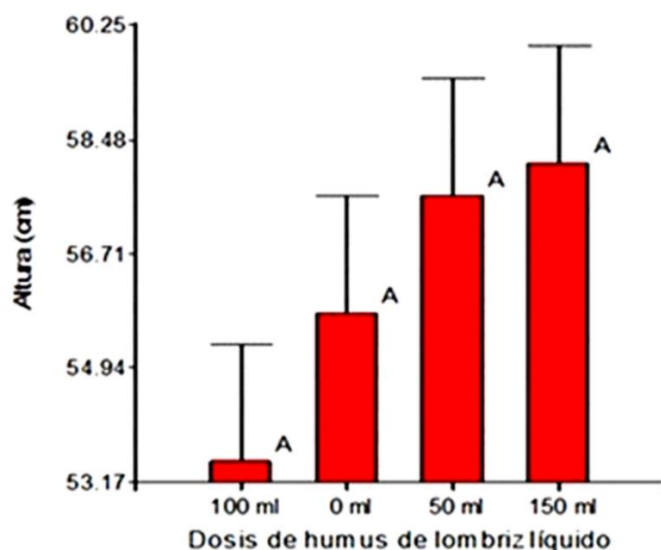
Fuente de variación	gl	Altura de las plantas (cm)			Diámetro basal de las plantas (mm)		
		SC	CM	$p$ -valor	SC	CM	$p$ -valor
A	3	420,07	140,02	0,2708	0,58	0,19	0,9062
B	1	1079,79	1079,79	0,0018	0,35	0,35	0,5658
A × B	3	2283,27	761,09	0,0002	2,31	0,77	0,5317
Error	120	12720,39	106,00		125,43	1,05	
Total	127	16503,52			128,68		

#### 4.1.1. Altura de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Los valores promedio de la variable altura de las plantas que se muestra en la **Figura 5** oscilan entre 53,50 cm y 58,11 cm, incrementándose ligeramente con la dosis, sin embargo, todas las medias se encuentran en el mismo grupo estadístico, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las dosis evaluadas. En consecuencia, aunque se observa una tendencia al aumento con mayores dosis de humus, esta variación no es suficiente para considerarse significativa según la prueba estadística aplicada.

Los resultados evidencian que la dosis de humus de lombriz no influyó significativamente en la altura ni en el diámetro basal de las plantas de *Cedrela odorata*. Este comportamiento sugiere que el crecimiento inicial de las plantas no depende directamente de la cantidad total aplicada, sino de otros factores como la disponibilidad y asimilación de los nutrientes en el sustrato. De acuerdo con Sotelo y Téllez (2007), el humus de lombriz es un

fertilizante orgánico altamente bioactivo, rico en microorganismos, enzimas, ácidos húmicos y fúlvicos, además de contener macro y micronutrientes fácilmente asimilables. Sin embargo, cuando el sustrato presenta una fertilidad inicial elevada o el periodo experimental es corto, el efecto de las distintas dosis puede no manifestarse significativamente, tal como también reportaron Álvarez y Llerena-Ramos (2022) y Santiago y Nauhat (2016) en estudios similares.

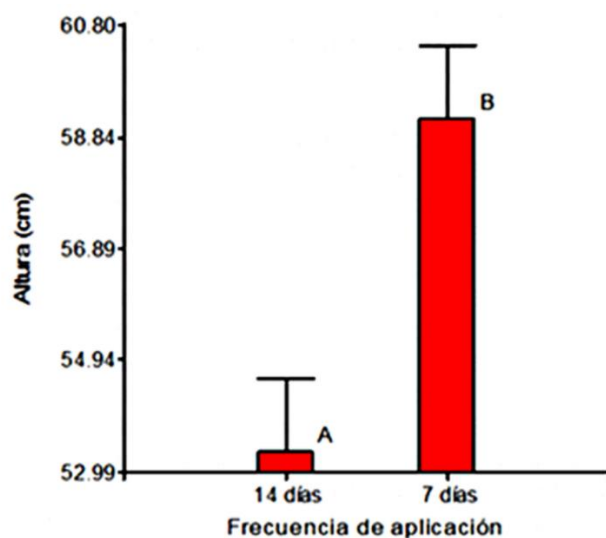


**Figura 5.** Efecto de las dosis de humus de lombriz líquido en la variable altura de las plantas

Los resultados de la **Figura 6** muestran que la aplicación cada 7 días obtuvo un promedio de altura de 59,15 cm, mientras que la aplicación cada 14 días alcanzó una media inferior de 53,35 cm. Asimismo, se reportaron grupos estadísticos distintos que indican que existen diferencias estadísticas significativas entre ambas frecuencias de aplicación. Esto significa que la mayor frecuencia (cada 7 días) produjo un efecto significativamente superior sobre la altura de las plantas, en comparación con la aplicación cada 14 días.

La frecuencia de aplicación del humus de lombriz mostró un efecto significativo sobre la altura de las plantas, siendo la aplicación semanal (cada 7 días) la más favorable. Este resultado se explica por el aporte continuo y equilibrado de nutrientes y fitohormonas, como auxinas, giberelinas y citoquininas, que estimulan la división y elongación celular, promoviendo un crecimiento vertical sostenido (Somarriba y Guzmán, 2004). Además, Von (2000) señala que el humus mejora la estructura y aireación del sustrato, incrementa la actividad microbiana y optimiza la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio, factores que favorecen la elongación del tallo. Investigaciones como la de Borges et al. (2014) confirman

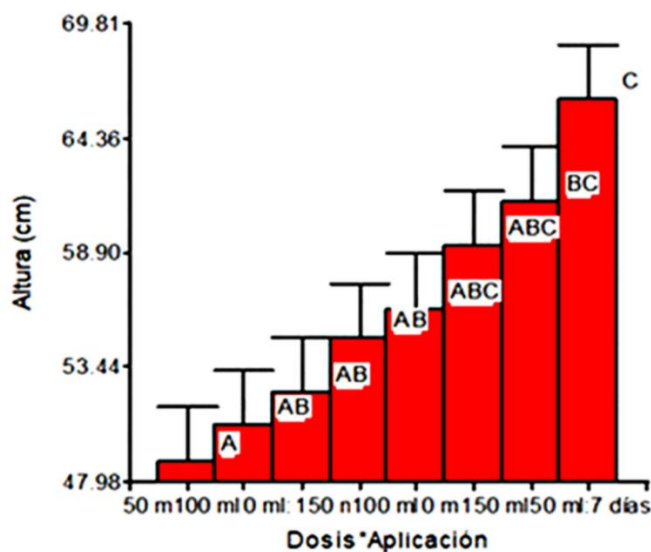
que aplicaciones semanales de humus líquido potencian la absorción de nutrientes y la formación de biomasa, concordando con lo observado en la investigación.



**Figura 6.** Efecto de la frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable altura de las plantas

Los resultados de la **Figura 7** evidencian diferencias notables entre las combinaciones de tratamientos. Los tres grupos estadísticos indican la existencia de diferencias estadísticas significativas entre algunos pares de tratamientos. Se observa que la mayor media (66,25 cm) corresponde a la dosis de 50 mL de humus aplicada cada 7 días. En contraste, la menor media (48,97 cm) se registró en la dosis de 50 mL de humus aplicada cada 14 días.

La interacción entre la dosis y la frecuencia de aplicación resultó altamente significativa para la variable altura, lo que indica que la respuesta del crecimiento depende no solo de la cantidad aplicada, sino también del momento y frecuencia con que se suministra el humus. La combinación de dosis intermedias (50 mL) con aplicación semanal generó los mejores resultados, lo cual concuerda con Justino (2015), quien observó que dosis moderadas de humus de lombriz (18–22%) optimizan la disponibilidad de nutrientes y evitan desequilibrios iónicos. Asimismo, Álvarez et al. (2022) resaltan que el efecto de los abonos líquidos depende de la interacción entre dosis, frecuencia y concentración de nutrientes, destacando la importancia de un suministro gradual y sostenido. En este sentido, los resultados de la investigación confirman que la eficacia del humus de lombriz líquido está más asociada a la dinámica temporal de los aportes biológicos y nutricionales que a la cantidad total aplicada.



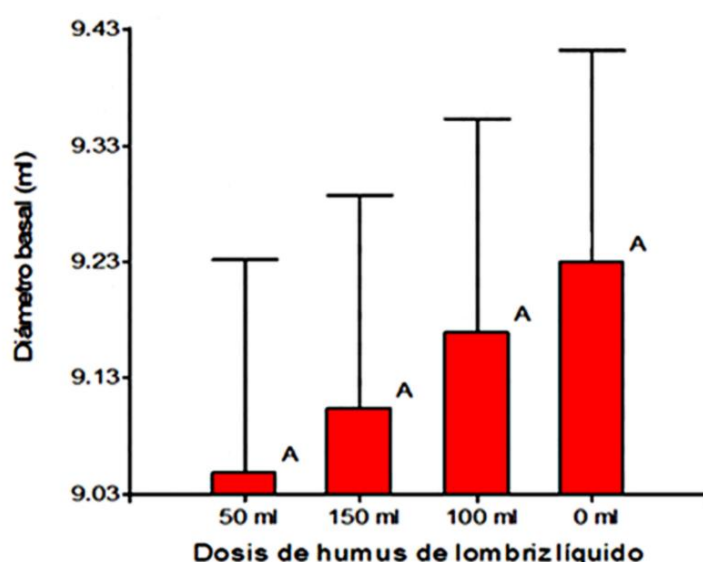
**Figura 7.** Efecto de la interacción dosis de humus de lombriz líquido × frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable altura de las plantas

En síntesis, los resultados muestran que la altura de *Cedrela odorata* respondió más a la frecuencia de aplicación del humus que a la dosis absoluta, mientras que el diámetro basal fue poco sensible a ambos factores. Este patrón coincide con estudios sobre enmiendas orgánicas y vermicompost que documentan efectos rápidos y evidentes en elongación y biomasa aérea, pero respuestas más lentas o variables en engrosamiento radial, que depende de procesos secundarios (acumulación de tejido, lignificación) y de mayor tiempo de exposición a los estímulos nutricionales. Es decir, otras investigaciones muestran que enmiendas con vermicompost tienden a aumentar altura y biomasa foliar a bajas o moderadas dosis, pero dosis altas pueden ser menos beneficiosas o incluso inhibir por efectos osmóticos o de exceso de sales (Blouin et al., 2019).

#### 4.1.2. Diámetro basal de plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Los resultados de la **Figura 8** muestran que las medias de los diámetros basales de las plantas varían ligeramente entre 9,05 mm y 9,23 mm, observándose una tendencia mínima al incremento con mayores dosis de humus. Sin embargo, todas las medias presentan el mismo grupo estadístico, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las dosis evaluadas. Esto significa que, aunque se aprecian pequeñas variaciones en los valores medios, estas no son lo suficientemente grandes como para atribuirse al efecto de la dosis de humus, sino que podrían deberse a la variabilidad natural de los datos.

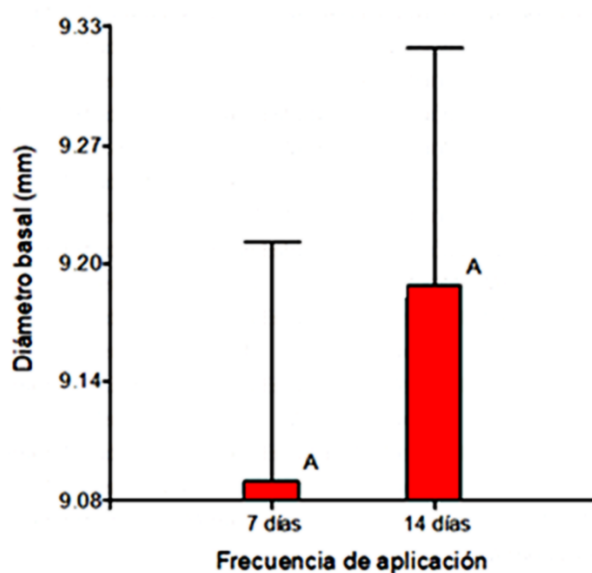
La ausencia de diferencias significativas entre las distintas dosis de humus de lombriz sobre el diámetro basal de las plantas de *Cedrela odorata* sugiere que el abono actúa más como un bioestimulante fisiológico que como un fertilizante de efecto dosis-respuesta. De acuerdo con Aira y Domínguez (2011), dosis moderadas de humus son suficientes para activar la actividad microbiana y los procesos fisiológicos del suelo, mientras que incrementos excesivos no necesariamente aumentan el crecimiento y pueden incluso reducir la oxigenación o disponibilidad efectiva de nutrientes. Asimismo, Pennington y Muellner (2010) explican que en las etapas iniciales *Cedrela odorata* L. prioriza la elongación apical sobre el engrosamiento del tallo, buscando captar mayor luz y asegurar su establecimiento, lo que podría limitar la respuesta del diámetro basal a los incrementos de humus.



**Figura 8.** Efecto de las dosis de humus de lombriz líquido en la variable diámetro basal de las plantas

Los resultados de la **Figura 9** indican que la aplicación cada 7 días alcanzó una media de diámetro basal de las plantas de 9,09 mm, mientras que la aplicación cada 14 días presentó un valor ligeramente superior de 9,19 mm. No obstante, ambas frecuencias comparten el mismo grupo estadístico, lo que significa que no existen diferencias estadísticas significativas entre ellas. En consecuencia, la frecuencia con la que se aplicó el humus no influyó de manera significativa sobre la variable diámetro, ya que las variaciones observadas entre tratamientos son mínimas y atribuibles al azar.

Los resultados indican que las diferencias en el diámetro basal no fueron significativas, lo cual podría atribuirse a que el engrosamiento del tallo depende de procesos de lignificación y acumulación de tejidos secundarios que requieren mayor tiempo de exposición al humus. Según Somarriba y Guzmán (2004), los efectos del humus se expresan de manera más evidente en la fase temprana de crecimiento radicular y elongación del tallo, mientras que el aumento en grosor ocurre en etapas posteriores, cuando la planta acumula suficiente carbono estructural y enfrenta menor competencia por luz. Este patrón fue también descrito por Santiago y Nauhat (2016), quienes no hallaron diferencias significativas en el diámetro del tallo de *Capsicum chinense* tras la aplicación de lixiviado de lombriz, sugiriendo que su influencia en el crecimiento radial requiere un periodo experimental más prolongado.

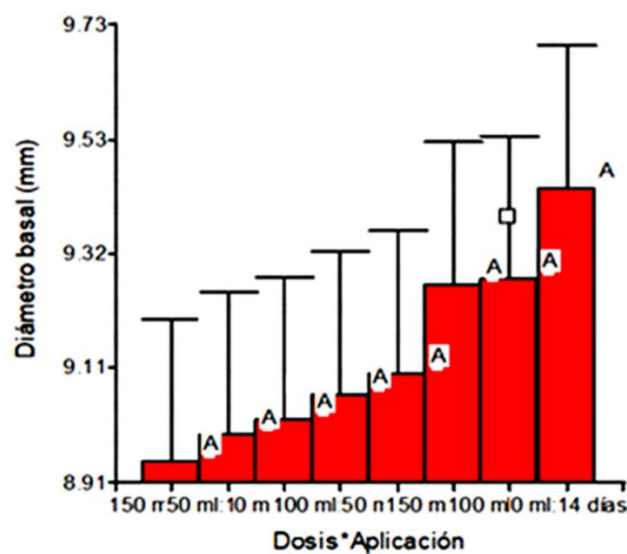


**Figura 9.** Efecto de la frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable diámetro basal de las plantas.

Los resultados de la **Figura 10** no evidencian diferencias estadísticas entre las combinaciones de tratamientos. La existencia de un grupo estadístico indica la no existencia de diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Se observa que la mayor media (9,44 mm) corresponde al tratamiento 2. En contraste, la menor media (8,95 mm) se registró en el tratamiento 7.

La interacción entre la dosis y la frecuencia de aplicación del humus de lombriz tampoco mostró un efecto significativo sobre el diámetro basal, lo cual puede explicarse por la lenta respuesta del crecimiento secundario en *Cedrela odorata* L. Si bien la

aplicación semanal podría haber favorecido la disponibilidad constante de nutrientes y compuestos bioactivos, este estímulo parece reflejarse más en la elongación del tallo que en el engrosamiento. Borges et al. (2014) demostraron que la aplicación foliar de humus líquido al 50% cada 7 días incrementó la biomasa y la longitud de ramas en morera, pero no produjo efectos inmediatos sobre el diámetro de tallos jóvenes, lo que concuerda con el presente estudio. En este sentido, la ausencia de significancia estadística no implica falta total de efecto, sino que el impacto del humus sobre el crecimiento radial podría manifestarse gradualmente y en etapas de desarrollo más avanzadas.



**Figura 10.** Efecto de la interacción dosis de humus de lombriz líquido  $\times$  frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable diámetro basal de las plantas

En síntesis, el diámetro basal estable observado en la investigación puede explicarse por la prioridad ontogenética de las plantas jóvenes por la expansión apical (captación de luz) y porque el desarrollo radial exige mayor acumulación de carbono estructural y tiempo para su manifestación. Estudios experimentales y revisiones sobre el uso de vermicompost en sustratos de vivero indican que las respuestas son especies-dependientes y que, en muchos casos, el beneficio máximo se alcanza con dosis moderadas o proporciones específicas en la mezcla, mientras que la sustitución total o dosis elevadas pueden provocar problemas de aireación o salinidad que afectan el crecimiento radial (Lazcano et al., 2009).

#### 4.1.3. Supervivencia de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Los resultados muestran que, en promedio, las plantas presentan una supervivencia alta, y una distribución relativamente uniforme entre tratamientos. La variabilidad observada es moderada ( $CV \approx 1,7\%$ ), lo que sugiere que las dosis y el tiempo de evaluación influyeron ligeramente en supervivencia de las plantas (**Tabla 6**).

**Tabla 6.** Estadísticos de la variable supervivencia de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Estadísticos	Supervivencia
Muestra	8,0
Media (%)	94,3
Desviación estándar (%)	1,7
Coefficiente de variación (%)	1,8
Límite inferior (%)	91,7
Límite superior (%)	96,9

La **Tabla 7** muestra que los valores de supervivencia fluctúan entre 91,7% y 96,9%, lo que indica que todas las condiciones mantuvieron una alta supervivencia general, superior al 90%. No obstante, la frecuencia de aplicación no muestra un patrón consistente de mejora o deterioro, aunque el valor más alto (96,9%) se registró en la aplicación a los 14 días. Asimismo, dosis elevadas podrían comenzar a afectar la supervivencia, mientras que las dosis bajas mantienen niveles similares al control.

Los valores de supervivencia obtenidos evidencian que todas las dosis de humus de lombriz permitieron mantener una alta viabilidad de los plantones de *Cedrela odorata* L., lo que sugiere que el sustrato base ofreció condiciones adecuadas de aireación, humedad y nutrientes. Sin embargo, se observa una ligera tendencia a la disminución de la supervivencia con el incremento de la dosis, lo que podría deberse a un exceso de materia orgánica fácilmente descomponible que reduce la oxigenación del sustrato y genera condiciones de estrés radicular. Este comportamiento coincide con lo reportado por Aira y Domínguez (2011), quienes señalan que el humus de lombriz actúa principalmente como bioestimulante y que dosis moderadas resultan más efectivas para activar la actividad microbiana y promover el desarrollo vegetal, mientras que concentraciones elevadas pueden limitar la respiración

radicular o la disponibilidad de oxígeno en el medio. En este sentido, dosis bajas a moderadas (0–50 mL) resultan más adecuadas para mantener la supervivencia sin comprometer la fisiología de las plántulas.

En cuanto a la frecuencia de aplicación, los resultados muestran que la supervivencia fue alta en ambos intervalos (7 y 14 días), aunque el valor máximo (96,9%) se registró en la aplicación quincenal sin adición de humus, lo que sugiere que el riego y las condiciones del sustrato tuvieron un papel determinante en la estabilidad de las plantas. No obstante, las aplicaciones más frecuentes no generaron mejoras consistentes, lo que concuerda con lo descrito por Somarriba y Guzmán (2004), quienes indican que los efectos del humus líquido se manifiestan con mayor claridad en las etapas iniciales de crecimiento radicular y elongación del tallo, mientras que la supervivencia depende más de la disponibilidad hídrica y del balance aire–agua del sustrato. Así, la aplicación semanal podría no ser necesaria para mantener la viabilidad de las plántulas, siempre que las condiciones edáficas sean estables y exista una adecuada retención de humedad.

**Tabla 7.** Supervivencia de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por tratamientos

Tratamientos	Dosis (mL)	Tiempo (días)	Supervivencia (%)
1	0	7	93,8
2	0	14	96,9
3	50	7	94,8
4	50	14	93,8
5	100	7	92,7
6	100	14	94,8
7	150	7	95,8
8	150	14	91,7

La supervivencia elevada ( $\approx 91,7 - 96,9\%$ ) en todos los tratamientos indica que las condiciones de manejo y el sustrato proporcionaron un ambiente adecuado para la viabilidad inicial de los plantones. No obstante, la ligera tendencia a una menor supervivencia en la dosis más alta (150 mL a 14 días) sugiere que dosis elevadas pueden empezar a afectar la respiración radicular o la calidad física del sustrato (por ejemplo: menor porosidad/oxigenación), tal como señalan revisiones que advierten sobre efectos negativos de

concentraciones excesivas de vermicompost por salinidad o alteración del balance agua-aire en el contenedor. Por tanto, en condiciones con buena fertilidad inicial, dosis moderadas serían suficientes para mantener alta supervivencia sin riesgo para la planta (Lim et al., 2014).

#### 4.2. Efecto de niveles de humus líquido de *Eisenia foetida* Savigny sobre los índices de calidad de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) en vivero

La **Tabla 8** muestra que la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada al índice de esbeltez presenta una distribución normal, obteniéndose un valor de media de 6,3 cm y una desviación estándar de 1,3 cm, con un estadístico  $W^* = 0,97$ , el cual es cercano a 1, lo que indica un buen ajuste a la normalidad.

**Tabla 8.** Prueba de normalidad para la variable índice de esbeltez de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Variabes	Media	Desviación estándar	W*
Índice de esbeltez	6,3	1,33	0,97

##### 4.2.1. Índice de esbeltez (IE) de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

El análisis de la **Tabla 9** muestra que la dosis de humus obtuvo un  $p = 0,1361$ , valor mayor que 0,05, lo que indica que no presenta un efecto estadísticamente significativo sobre el índice de esbeltez. En cambio, la frecuencia de aplicación registró un  $p = 0,0008$ , menor que 0,05, por lo que sí ejerce un efecto significativo en el índice de esbeltez. Asimismo, la interacción entre la dosis de humus y la frecuencia de aplicación alcanzó un  $p = 0,001$ , también menor que 0,05, lo que demuestra que el efecto combinado de ambos factores es altamente significativo. Los resultados evidencian que la frecuencia de aplicación del humus influye de manera individual y en interacción con la dosis sobre el índice de esbeltez. En particular, el efecto conjunto de ambos factores sugiere que la respuesta del índice de esbeltez depende tanto de la dosis aplicada como de la frecuencia de aplicación, siendo más favorable la combinación de una dosis intermedia con una frecuencia semanal.

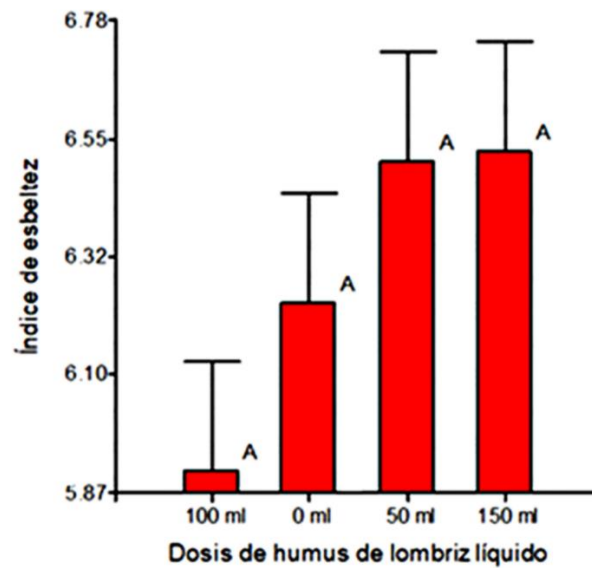
**Tabla 9.** Análisis de varianza para el índice de esbeltez de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado), en la última evaluación

Fuente de variación	Gl	SC	CM	<i>p</i> -valor
A	3	8,16	2,72	0,1361
B	1	17,01	17,01	0,0008
A × B	3	25,00	8,33	0,001
Error	120	173,25	1,44	
Total	127	223,42		

Los valores promedio de la variable altura que se muestra en la **Figura 11** oscilan entre 5,91 y 6,53, incrementándose ligeramente con la dosis, sin embargo, todas las medias se encuentran en el mismo grupo estadístico, lo que indica que no existen diferencias estadísticas significativas entre las dosis evaluadas. En consecuencia, aunque se observa una tendencia al aumento con mayores dosis de humus, esta variación no es suficiente para considerarse significativa según la prueba estadística aplicada.

Conforme a los rangos propuestos por Sáenz et al. (2010), los valores de índice de esbeltez menores a 6,0 indican plantas de alta calidad, mientras que aquellos entre 6,0 y 7,9 corresponden a calidad media. En este estudio, los valores obtenidos ubican a los plantones dentro del rango medio a alto, evidenciando una buena robustez y equilibrio morfológico. Esto sugiere que las diferentes dosis de humus de lombriz no generaron variaciones significativas en la relación altura-diámetro, manteniendo la estabilidad estructural de las plantas. Tal comportamiento podría deberse a que el humus actúa como bioestimulante más que como fertilizante de efecto proporcional, aportando nutrientes y fitohormonas que promueven tanto la elongación como el engrosamiento del tallo de manera equilibrada (Somarriba y Guzmán, 2004).

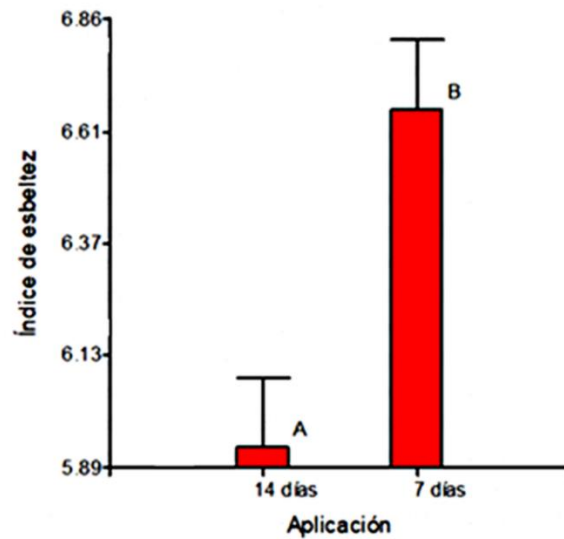
Resultados similares fueron reportados por Álvarez et al. (2022), quienes observaron que las mayores dosis de humus de lombriz no modificaron significativamente el índice de esbeltez, debido a que el incremento en altura fue proporcional al aumento del diámetro basal.



**Figura 11.** Efecto de las dosis de humus de lombriz líquido en el índice de esbeltez de las plantas

Los resultados de la **Figura 12** muestran que la aplicación cada 7 días obtuvo un promedio de índice de esbeltez de 6,67, mientras que la aplicación cada 14 días alcanzó una media inferior de 5,93. Asimismo, se reportaron grupos estadísticos distintos que indican que existen diferencias estadísticas significativas entre ambas frecuencias de aplicación. Esto significa que la mayor frecuencia (cada 7 días) produjo un efecto significativamente superior sobre el índice de esbeltez de las plantas, en comparación con la aplicación cada 14 días.

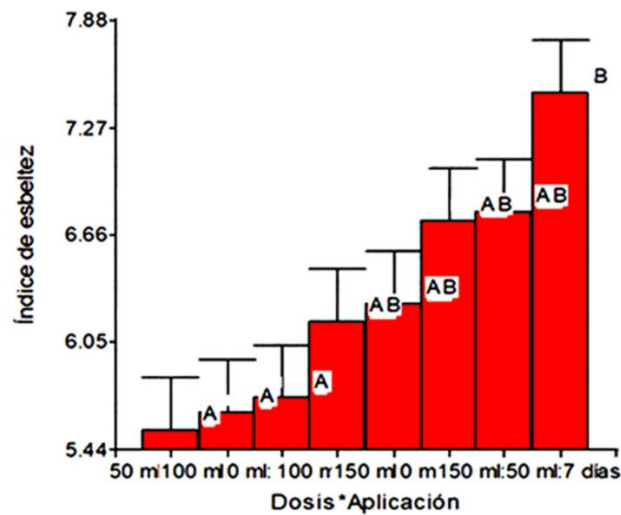
Los resultados indican que la aplicación semanal (cada 7 días) favoreció el desarrollo morfológico de las plantas, logrando un índice de esbeltez equilibrado y dentro de los rangos de calidad media a alta establecidos por Prieto y Alarcón (1998) y García (2007). Esto se debe a que la aplicación continua del humus asegura un suministro sostenido de nutrientes y compuestos bioactivos, promoviendo una elongación armónica del tallo sin comprometer la robustez estructural. La presencia de auxinas, giberelinas y citoquininas en el humus líquido estimula la división y elongación celular, lo que mejora la eficiencia fisiológica de las plantas. De este modo, la frecuencia semanal permitió un crecimiento controlado y estable, evitando que las plantas desarrollaran tallos excesivamente delgados o débiles.



**Figura 12.** Efecto de la frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable índice de esbeltez de las plantas

Los valores que se muestran en la **Figura 13** acerca del índice de esbeltez varían entre 5,55 y 7,47, mostrando que las combinaciones de dosis y frecuencia de aplicación influyeron de manera diferenciada en el desarrollo morfológico de las plantas. Los distintos grupos estadísticos indican que existen diferencias estadísticas significativas entre algunos tratamientos. En particular, el mayor valor promedio (7,47) se registró con la dosis de 50 mL de humus aplicada cada 7 días. En contraste, los tratamientos con aplicación quincenal (14 días) y dosis de 50, 100 y 0 mL mostraron valores menores y sin diferencias significativas entre sí.

Los resultados sugieren que el efecto combinado de ambos factores mantuvo el equilibrio entre la altura y el diámetro basal, sin generar alteraciones significativas en el índice de esbeltez. Este comportamiento indica que, aunque las dosis más altas no incrementaron significativamente el crecimiento, su aplicación frecuente optimizó el aprovechamiento de los nutrientes y la actividad microbiana del sustrato, contribuyendo a una distribución más uniforme de la biomasa. Luna y Fontana (2020) sostienen que los sustratos enriquecidos con materia orgánica mejoran simultáneamente la altura y el diámetro, reforzando la idea de que la combinación adecuada de dosis y frecuencia potencia el efecto del humus líquido. No obstante, su acción puede ser más notoria a largo plazo, ya que los procesos de mineralización y estructuración del sustrato requieren tiempo para consolidarse (Aira y Domínguez, 2011).



**Figura 13.** Efecto de la interacción dosis de humus de lombriz líquido  $\times$  frecuencia de aplicación de humus de lombriz líquido en la variable índice de esbeltez de las plantas

#### 4.2.2. Relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Los resultados muestran que, en promedio, las plantas presentan un crecimiento aéreo dominante, pero con una distribución relativamente uniforme entre tratamientos. La variabilidad observada es moderada ( $CV \approx 20\%$ ), lo que sugiere que las dosis y el tiempo de evaluación influyeron ligeramente en la relación parte aérea/parte radicular, sin provocar diferencias muy marcadas (**Tabla 10**).

**Tabla 10.** Estadísticos de la variable parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Estadísticos	RAR
Muestra	8,0
Media	4,8
Desviación estándar	1,0
Coefficiente de variación (%)	19,9
Límite inferior	3,8
Límite superior	5,8

En la **Tabla 11** y **Figura 14** se muestra que la relación parte aérea / parte radicular (RAR), indicando que el crecimiento aéreo es inicialmente mayor, pero tiende a equilibrarse con el radicular conforme avanza el tiempo y varía la dosis. Las dosis intermedias de humus de lombriz (50–100 mL) mantienen relaciones moderadas, mientras que la dosis alta (150 mL) parece favorecer una recuperación del crecimiento aéreo a los 14 días. Esto sugiere que tanto el tiempo como la dosis influyen en la asignación de biomasa entre la parte aérea y la radicular.

En la investigación, los valores de RAR obtenidos oscilaron entre 3,46 y 6,46, con una media general de 4,8 y un coeficiente de variación de 19,9 %. Estos resultados indican que, en promedio, la biomasa aérea fue más de cuatro veces superior a la biomasa radicular, lo que evidencia un crecimiento predominante en la parte aérea. Este comportamiento sugiere que las plantas priorizaron la expansión foliar y del tallo, posiblemente como respuesta a la disponibilidad de nutrientes del sustrato enriquecido con humus de lombriz, que mejora la aireación y el aporte de nitrógeno, fósforo y potasio, estimulando el desarrollo del follaje.

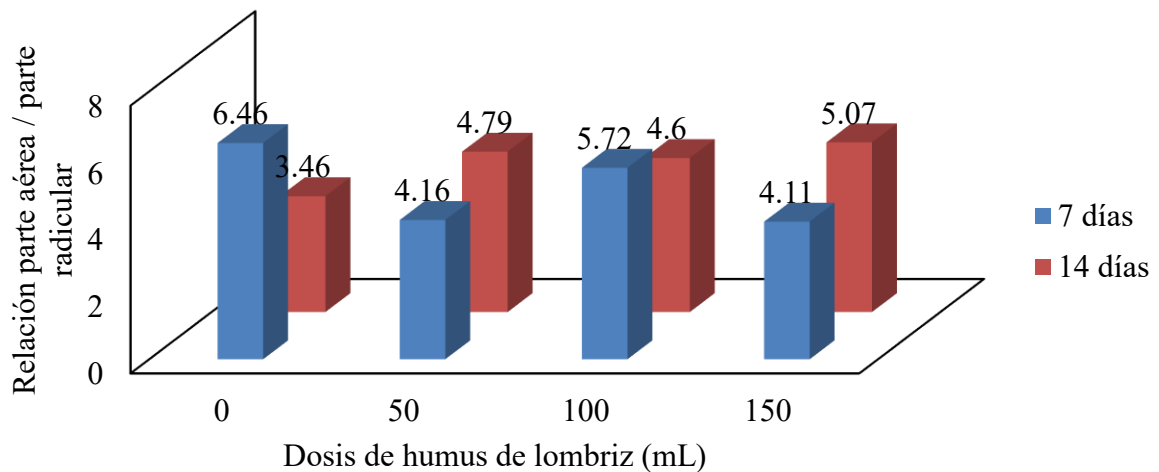
Sin embargo, valores de RAR superiores a 2,5 podrían considerarse indicativos de un desequilibrio morfológico, con un sistema radical insuficiente para sustentar la demanda hídrica y nutricional de la parte aérea en condiciones de estrés (Orozco et al., 2010). Aun así, la variabilidad moderada ( $CV < 20\%$ ) sugiere que la respuesta de las plantas fue relativamente homogénea frente a las diferentes dosis de humus, mostrando un patrón de crecimiento consistente.

Por lo tanto, aunque el humus de lombriz mejoró el vigor y el crecimiento aéreo de los plantones, su efecto sobre el equilibrio morfológico fue moderado. Dosis intermedias tendieron a favorecer una mejor proporción entre la parte aérea y la radicular, mientras que las dosis más altas incrementaron la RAR, lo cual podría ser desfavorable en ambientes áridos o con escasa disponibilidad de agua.

En consecuencia, se puede afirmar que el humus de lombriz mejora la calidad fisiológica de la planta, pero es necesario ajustar la dosis para mantener un equilibrio adecuado entre el desarrollo aéreo y el radicular, asegurando así una mayor supervivencia y adaptación en campo.

**Tabla 11.** Relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por tratamientos

Tratamientos	Dosis (mL)	Tiempo (días)	RAR
1	0	7	6,46
2	0	14	3,46
3	50	7	4,16
4	50	14	4,79
5	100	7	5,72
6	100	14	4,6
7	150	7	4,11
8	150	14	5,07



**Figura 14.** Relación parte aérea (PA) / parte radicular (PR) (RAR) de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por dosis de humus de lombriz y por frecuencia de aplicación.

#### 4.2.3. Índice de calidad de Dickson (ICD) de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Los resultados muestran que, en promedio, las plantas alcanzaron una calidad morfológica alta, reflejando un equilibrio adecuado entre el crecimiento aéreo y radicular, así como una buena robustez estructural. No obstante, la alta variabilidad (CV = 43,5 %) sugiere que algunas dosis de humus de lombriz o tiempos de evaluación generaron

respuestas diferenciadas en la calidad final de las plantas, siendo necesario identificar las condiciones que promovieron los valores más altos del índice para optimizar la producción en vivero (**Tabla 12**).

**Tabla 12.** Estadísticos del índice de calidad de Dickson de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Estadísticos	Índice de Dickson
Muestra	8,0
Media	1,0
Desviación estándar	0,4
Coefficiente de variación (%)	43,5
Límite inferior	0,5
Límite superior	1,4

En la **Tabla 13** y **Figura 15**, los resultados muestran que los valores del índice de calidad de Dickson varían entre 0,49 y 1,76, lo que refleja una heterogeneidad moderada en la calidad de las plantas según los tratamientos. Se observa que las dosis intermedias y altas de humus de lombriz (50 a 150 mL) tienden a mejorar el índice de calidad de Dickson, alcanzando los valores más altos con 150 mL a 7 días (1,76). Esto sugiere que el humus aporta nutrientes y mejora la estructura del sustrato, favoreciendo un crecimiento equilibrado entre raíces y parte aérea. En cambio, los valores menores (0,49–0,68) en los tratamientos sin humus o con tiempos prolongados reflejan una menor robustez y balance morfológico, posiblemente por limitaciones nutricionales o por un crecimiento más lento.

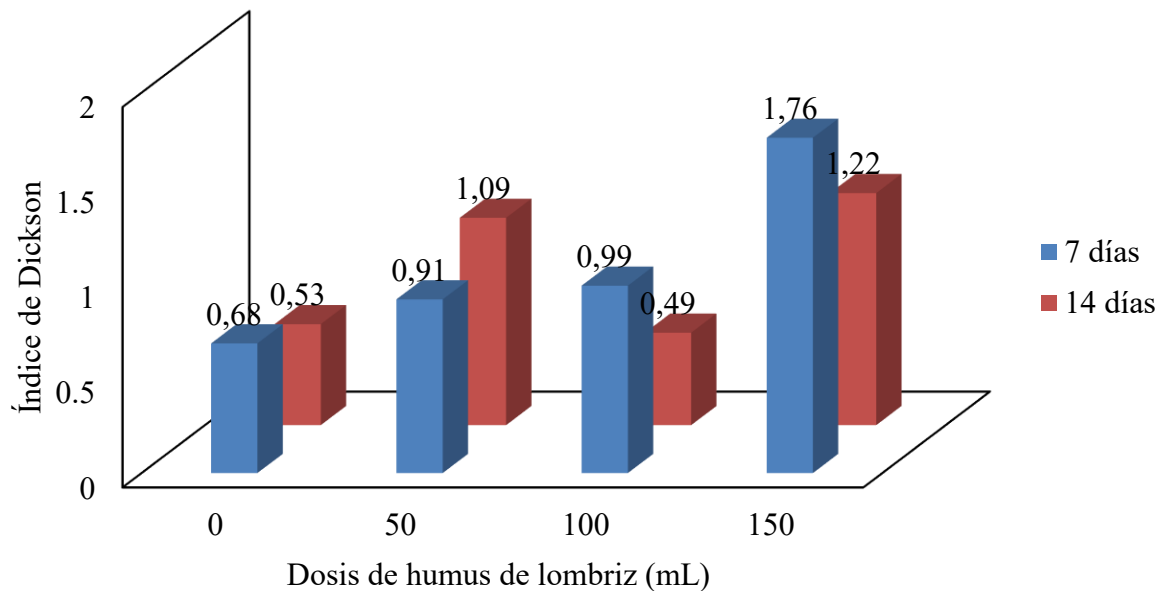
Los resultados del índice de calidad de Dickson indican una mejor robustez y balance morfológico de los plantones, lo que concuerda con lo señalado por García (2007), quien sostiene que valores elevados del índice de calidad de Dickson reflejan una distribución equilibrada de biomasa entre la parte aérea y la raíz, evitando la formación de plantas desproporcionadas y promoviendo un desarrollo vigoroso.

De acuerdo con Sáenz et al. (2010), valores de índice de calidad de Dickson superiores a 0,5 corresponden a plantones de alta calidad, con mayor potencial de supervivencia y crecimiento en campo. En este estudio, los tratamientos con mejores resultados superaron este umbral, lo que sugiere que el humus de lombriz mejora las propiedades físicas

y químicas del sustrato, incrementando la disponibilidad de nutrientes y la aireación radicular. En conjunto, estos efectos favorecen el equilibrio estructural de la planta, condición clave para su adaptación posterior al trasplante.

**Tabla 13.** Índice de calidad de Dickson de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por tratamientos

Tratamientos	Dosis (mL)	Tiempo (días)	Índice de Dickson
1	0	7	0,68
2	0	14	0,53
3	50	7	0,91
4	50	14	1,09
5	100	7	0,99
6	100	14	0,49
7	150	7	1,76
8	150	14	1,22



**Figura 15.** Índice de calidad de Dickson de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por dosis de humus de lombriz y por frecuencia de aplicación.

#### 4.2.4. Índice de lignificación (IL)

El índice de lignificación promedio de 18,6 con baja variabilidad indica que los plántones presentaron un buen grado de madurez y resistencia estructural, cualidades que aumentan su probabilidad de supervivencia y adaptación al momento de la plantación. La homogeneidad observada sugiere que las condiciones de vivero, incluyendo el uso de humus de lombriz, favorecieron un desarrollo uniforme del tejido lignificado en todos los tratamientos (**Tabla 14**).

**Tabla 14.** Estadísticos del índice de lignificación de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado)

Estadísticos	Índice de Lignificación
Muestra	8,0
Media	18,6
Desviación estándar	1,4
Coefficiente de variación (%)	7,7
Límite inferior	17,1
Límite superior	20,0

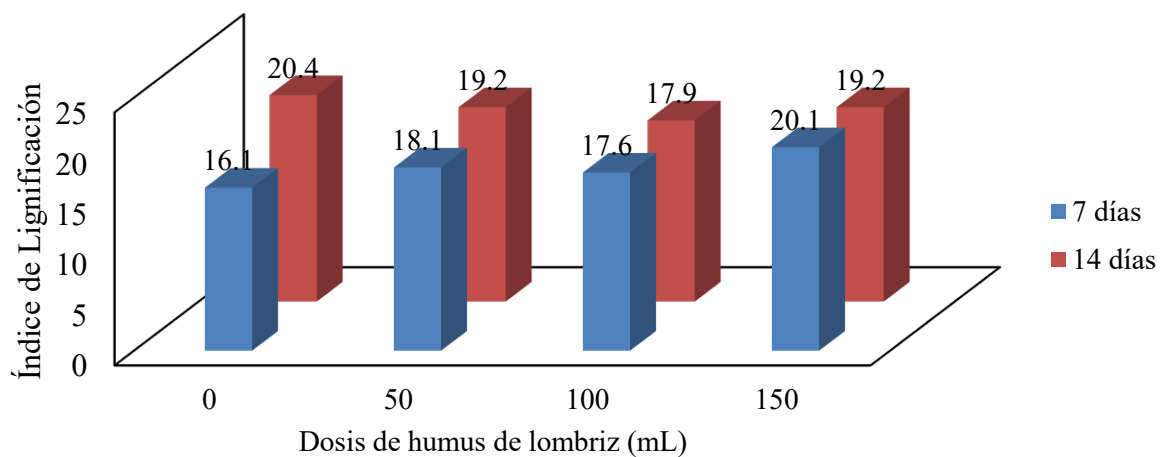
En la **Tabla 15** y **Figura 16**, los valores del índice de Lignificación fluctúan entre 16,1 y 20,4, mostrando una lignificación alta y homogénea en todos los tratamientos. Se aprecia que el tiempo de evaluación influye positivamente, ya que los valores a 14 días tienden a ser mayores, indicando un avance natural en la madurez estructural. Asimismo, las dosis altas de humus (150 mL) presentan los valores más elevados (20,1 y 19,2), lo que evidencia que la fertilización orgánica favorece la lignificación uniforme de los tejidos y mejora la fortaleza de los plántones. En contraste, las dosis intermedias o menores presentan valores ligeramente inferiores, vinculados a un crecimiento vegetativo más activo. En general, el índice de lignificación promedio ( $\approx 18,6$ ) confirma que los plántones alcanzaron un nivel óptimo de lignificación, condición que los hace más resistentes al estrés y con mayor probabilidad de supervivencia tras el trasplante.

De acuerdo con Villalón-Mendoza et al. (2016), una adecuada lignificación reduce la pérdida de agua por transpiración y aumenta la resistencia al estrés hídrico y mecánico, factores determinantes para el éxito en la etapa de establecimiento. De igual

manera, Orozco et al. (2010) destacan que una lignificación equilibrada mejora la eficiencia fisiológica y la tolerancia ambiental de las plantas jóvenes. En este contexto, los resultados obtenidos confirman que la aplicación de humus de lombriz, particularmente en dosis moderadas y con frecuencia semanal, fortalece los tejidos estructurales y funcionales de *Cedrela odorata*, incrementando su capacidad de adaptación y supervivencia en campo.

**Tabla 15.** Índice de lignificación de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por tratamientos

Tratamientos	Dosis (mL)	Tiempo (días)	Índice de Lignificación
1	0	7	16,1
2	0	14	20,4
3	50	7	18,1
4	50	14	19,2
5	100	7	17,6
6	100	14	17,9
7	150	7	20,1
8	150	14	19,2



**Figura 16.** Índice de lignificación de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por dosis de humus de lombriz y por frecuencia de aplicación

## V. CONCLUSIONES

- Los niveles de humus líquido no tuvieron efecto significativo sobre la altura ni sobre el diámetro basal de las plantas de *Cedrela odorata* L., sin embargo, la frecuencia de aplicación sí influyó en la altura, siendo más favorable la aplicación cada 7 días. La supervivencia fue alta (>90%) en todos los tratamientos, con el mayor porcentaje en el tratamiento control y una ligera reducción en la dosis más alta.
- Los niveles de humus líquido, en interacción con la frecuencia de aplicación, afectaron significativamente los índices de calidad de los plantones. Las dosis moderadas de (50-100 mL) aplicadas cada 7 días generaron los mejores valores del índice de esbeltez, índice calidad de Dickson y porcentaje de lignificación, así como relaciones parte aérea/raíces más equilibradas, por lo que se recomiendan como manejo óptimo para mejorar la calidad morfológica de *Cedrela odorata* L. en vivero.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Efecto de humus líquido sobre la calidad morfológica y fisiológica de plántones de especies forestales nativas en vivero.
- Evaluar el crecimiento y supervivencia en campo de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) producida con diferentes dosis de humus líquido de lombriz.
- Efecto de humus líquido sobre la calidad morfológica y fisiológica de plántones instalados en suelos degradados.

## VII. REFERENCIAS

- Aira, M., & Domínguez, J. (2011). Earthworm effects without earthworms: Inoculation of raw organic matter with worm-worked substrates alters microbial community functioning. *PLoS ONE*, 6(1), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016354>
- Álvarez, A., Gutiérrez, J. E., Meza, A. A. y Murga, C.E. (2022). Efecto de abonos foliares líquidos orgánicos en la calidad de plantones de cedro colorado (*Cedrela odorata* L.), en fase de vivero. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Llamkasun*, 3, 60-75. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i2.106>
- Álvarez, L. A. y Llerena-Ramos, L. T. (2022). Efecto del humus líquido en variables de crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Ciencia Latina*, 6, 769-778. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3570](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3570)
- Angiosperm Phylogeny Group. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- Birchler, T., Rose, R. W., Royo, A. y Pardos, M. (1998). La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación. Universidad Politécnica de Madrid.
- Blouin, M., Barrère, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Borges, J., Barrios, M., Chávez, A. y Avendaño, R. (2014). Efecto de la fertilización foliar con humus líquido de lombriz durante el aviveramiento de la morera (*Morus alba* L.). *Bioagro*, 26, 159-164. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612014000300004&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612014000300004&lng=es&nrm=iso)
- Briceño, A. A y Pérez, A. C. (2017). Utilización del humus Lombriz Roja Californiana *Eisenia foetida* como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café. [Tesis

de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional RIUMA. <https://repositorio.unan.edu.ni/3795/>

Calixto, C. G., López, M.A., Equihua, A., Lira, D. E. y Cetina, V. M. (2015). Crecimiento de *Cedrela odorata* e incidencia de *Hypsipyla grandella* en respuesta al manejo nutrimental. *Bosque*, 36, 265-273. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173141111012>

Castañeda, F., Gómez, J. J. y Flórez, V. J. (2011). Evaluación del fertilizante orgánico líquido de lombriz San Rafael en el cultivo de rosa cv. Classy. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*, 64, 6147-6157. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179922664012.pdf>

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2003). Árboles de Centroamérica. *Cedrela odorata* L. Turrialba, Costa Rica. CATIE <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9730>

Cronquist, A. (1981). An integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press. *Conabio*, 1, 51-52. <https://reinaldolozano.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/10/cronquist1980.pdf>

Díaz, P., Torres, Z., Sánchez, L. y Arévalo, L. (2013). Comportamiento morfológico de cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en respuesta al tipo de sustrato en vivero. *Folia amazónica*, 22, 25-33. <https://doi.org/10.24841/fa.v22i1-2.45>

Dickson, A, Leaf, A. & Hosner. J. (1960). Quality appraisal of white spruce and white *Pine* seedlings stock in nurseries. *Forestry Chronicle*, 36, 10-13.

Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Sherman, R. (2011). Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes, and environmental management. CRC Press. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b10453/vermiculture-technology-clive-edwards-rhonda-sherman-norman-arancon>

- Fuentes, J. L. (1987). La crianza de la lombriz roja. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. [https://www.academia.edu/11144361/\\_i\\_LA\\_CRIANZA\\_DE\\_LA\\_LOMBRIZ\\_ROJA](https://www.academia.edu/11144361/_i_LA_CRIANZA_DE_LA_LOMBRIZ_ROJA)
- Galindo, F., Fortis, M., Preciado, P., Trejo, R., Segura, M. y Orozco, J. (2014). Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 1219-1232. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014000700007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000700007)
- García, M. (2007). Importancia de la calidad del plantín forestal. In: XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. Argentina.
- Guanche, G. A. (2015). Las lombrices y la agricultura, información técnica. <https://www.studocu.com/es-mx/document/servicio-nacional-de-bachillerato-enlinea-de-la-secretaria-de-educacion-publica/ciencias/agec-562-lombrices-y-laagricultura-2/26098621>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)
- Hernández, M. R. (2019). Instalación de lombricario para la obtención de humus y lixiviado para la aplicación en el cultivo de rosa. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio institucional UAEM. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/110627>
- Holdridge, L. R. (1987). Ecología basada en zonas de vida. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. [https://books.google.com.pe/books?id=m3Vm2TCjM\\_MC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=m3Vm2TCjM_MC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

- Justino, M. (2015). Morfología y biomasa, de plantas de cedro colorado (*Cedrela odorata* L.) empleando diferentes dosis de abonos orgánicos, en fase de vivero. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/634>
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., y Barnett, J. P. (2010). *Containers and Growing Media*. Department of Agriculture, Forest Service.
- Lazcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J., & Domínguez, J. (2009). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(4), 944-951. <https://doi.org/10.5424/sjar/2009074-1107>
- Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., & Shak, K. P. (2014). The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(6), 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>
- Linares, M. I. (2005). *Instructivo para determinar las supervivencias de las plantaciones forestales*. Ed. MINAG.
- López, M. (2015). *Crecimiento inicial y sobrevivencia de plántulas de Cedrela odorata cedro en diferentes sustratos, producidas en el vivero forestal de Quistococha – GOREL, Loreto, Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional UNAP. <http://repositorio.unapikitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4288>
- Loza, M., Choque, B., Pillco, H., Huayta, D., Chambi, I. y Cutili, B. (2010). Comportamiento de lombriz roja californiana y lombriz silvestre en bosta bovina y rumia bovina como sustrato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1, 555-565.
- Luna, C. V. y Fontana, M. L. (2020). Calidad de planta y comportamiento morfológico de *Cedrela fissilis* Vell. en respuesta a distintos sistemas de producción y sustratos en vivero. *Quebracho*, 21, 90-102.

- Medina, M. y Quezada, M. C. (2004). Efecto del periodo de maduración del estiércol bovino sobre el comportamiento productivo de lombrices rojas en la zona de Camoapa. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/2717/>
- Mexal, J. G., y Landis T. D. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. In: Target seedlings symposium. Gen. Tech. Rep. USDA Forests. <https://rngr.net/publications/proceedings/1990/mexal.pdf>
- Milpa-Mejía, S., Grenón-Cascales, G. N., González-Castellanos, A. y Vázquez-García, L. M. (2012). Cultivo en maceta de *Iris xiphium* L. (Iris de Holanda) con diferentes concentraciones de humus de lombriz y sus lixiviados. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44 ,109-117.
- Montes, M. L. y Ruiz, M. A. (2004). Manual para el manejo de instalaciones lombrícolas, Icamex. <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://icamex.edomex.gob.mx/sites/icamex.edomex.gob.mx/files/files/publicaciones/2013%20LOMBRICOLAS.pdf>
- Orozco, G., Muños, H., Villaseñor, F., Rueda, A., Sigala, J. A. y Prieto, J. A. (2010). Diagnóstico de calidad de planta en los viveros del estado de Colima, Michoacán, México, INIFAP.
- Palacios, A. B., Granados, A., Soto, M. Y. y Flores, E. (2020). Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana. *Tecnociencia chihuahua*, 14,166-182.
- Pennington, T. D., & Muellner, A.N. (2010). A monograph of *Cedrela* (Meliaceae). New York Botanical garden Press. [https://openlibrary.org/books/OL45307562M/A\\_monograph\\_of\\_Cedrela\\_\(Meliaceae\)](https://openlibrary.org/books/OL45307562M/A_monograph_of_Cedrela_(Meliaceae))
- Pineda, J. A. (2006). Lombricultura, Instituto Hondureño del Café. <https://www.ihcafe.hn/>

- Piña, M., y Arboleda, M., E. (2010). Efecto de dos ambientes lumínicos en el crecimiento inicial y calidad de plantas de *Crescentia cujete*. *Bioagro*, 22, 61-66. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612010000100008](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100008)
- Prieto, J. A., y Alarcón, M. (1998). Producción de planta forestal. INIFAP-SAGAR.
- Prieto, R., Vera, C., y Merlín, B. (2003). Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. INIFAP SAGARPA. <https://nautilo.iib.unam.mx/Record/000403253/Details>
- Prieto, R., García, R., Mejía, B., Huchín, A., y Aguilar, V. (2009). Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. INIFAP-SAGARPA. <https://es.scribd.com/document/374541047/Produccion-de-Planta-Del-Genero-Pinusen-Vivero-en-Clima-Templado-Frio>
- Ramírez, C., y Rodríguez, T. (2004). Efecto de la calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo*. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 10,5-11. [https://www.researchgate.net/publication/237037971\\_Efecto\\_de\\_calidad\\_de\\_planta\\_exposicion\\_y\\_micrositio\\_en\\_una\\_plantacion\\_de\\_Quercus\\_rugosa](https://www.researchgate.net/publication/237037971_Efecto_de_calidad_de_planta_exposicion_y_micrositio_en_una_plantacion_de_Quercus_rugosa)
- Rodríguez, D. (2008). Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa.
- Rueda, A., Benavides, J. D., Prieto-Ruiz, J., Sáenz, J. T., Orozco-Gutiérrez, G. y Molina, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3, 69-82. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v3n14/v3n14a6.pdf>
- Saavedra, G. M. (2007). *Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género Pleorotus y anélidos de la especie Eisenia foetida*. [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Repositorio institucional UGR. <http://hdl.handle.net/10481/1453>
- Sáenz, J. T., Villaseñor, F. J., Muñoz, H. J., Rueda, S. A., y Prieto, J. A. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. SAGARPA-

INIFAPCIRPAC. <https://docplayer.es/17222741-Calidad-de-planta-en-viveros-forestales-declima-templado-en-michoacan.html>

- Santiago, A. E., y Nahuat, J. J. (2016). Efecto de la dosificación del lixiviado de lombriz (*Eisenia foetida*) en el cultivo de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). [Instituto Tecnológico de la zona maya. Tecnológico Nacional de México. 19 pp.]
- Somarriba, R. R., y Guzmán, G. G. (2004). Análisis de la influencia de la cachaza y estiércol bovino como sustrato de la lombriz roja californiana para producción de humus. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/775/>
- Sotelo, M. G., y Téllez, J. A. (2007). Efecto de distintos porcentajes de humus de lombriz, compost y suelo, como sustrato en la producción de plántulas de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional UNA. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2020>
- Tut, M. O. (2014). Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose). [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. Repositorio institucional URL. <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2014/06/22/TutMaynor.pdf>
- Villa-Briones, A., Zavaleta-Mejía, E., Vargas-Hernández, M., Gómez-Rodríguez, O. y Ramírez-Alarcón, S. (2008). Incorporación de vermicomposta para el manejo de *Nacobbus aberrans* en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 14, 249-255. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2008000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000300004)
- Villacorta, C. A. (2014). Dosis de abonamiento con estiércol de vacuno más lombrices *E. foetida* en el rendimiento de *Capsicum* sp motelito en Zungarococha – San Juan. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. Repositorio institucional UNAP. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/3383>

- Villalobos, E., García, L. C., Castro, A., Calixto, C. G., Sigala, J. A. y García, J. L. (2016). Calidad de planta de *Cedrela odorata* L. asociada con prácticas culturales de vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7, 65 – 80. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i36.60>
- Villalon-Mendoza, H., Ramos-Reyes, J. C., Vega López, J. A., Marino, B., Munos-Palomino, M. A. y Garza-Ocañas, F. (2016). Indicadores de calidad de planta de *Quercus canby* trel (encino) en vivero forestal. *Revista latinoamericana de recursos naturales*, 12, 46-52. <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n1-5-indicadoresde-calidad-de-la-planta-de-quercus-canby-Trel-encino-en-vivero-forestal.pdf>
- Von, B. W. (2000). Comportamiento agronómico de dos variedades de acelga bajo dosis de abonamiento con humus de lombriz en Walpinis. *Revista Latinoamericana de Agricultura y Nutrición*, 1, 6-13. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.042734/Details>
- Zacarías, O. R. (2015). Efecto de la lombriz coqueta roja (*Eisenia foetida*, lumbricidae) sobre la calidad nutricional de seis sustratos; chajul, quiché. Campus de Quetzaltenango. [Tesis de pregrado, Universidad Rafael Landívar]. Repositorio institucional URL. <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://recursosbiblio2.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/04/Zacarias-Oscar.pdf>

## **ANEXOS**

**Anexo 01. Panel fotográfico**

**Figura 17.** Acondicionamiento de la cama germinadora con el musgo blanco (*Spahagnum Moss*), con sombra del 80% (malla raschel)



**Figura 18.** Preparación de humus líquido en 50 mL, 100 mL, y 150 mL para su aspersión sobre las plántulas de *Cedrela odorata*



**Figura 19.** Medición de diámetro, en base de la planta de *Cedrela odorata*



**Figura 20.** Medición de la altura, desde la base hasta el ápice de la planta de *Cedrela odorata*



**Figura 21.** Aplicación del humus líquido de *Eisenia foetida* (Lombricidae), mediante aspersión



**Figura 22.** Visita de los jurados, para la evaluación de la ejecución de tesis

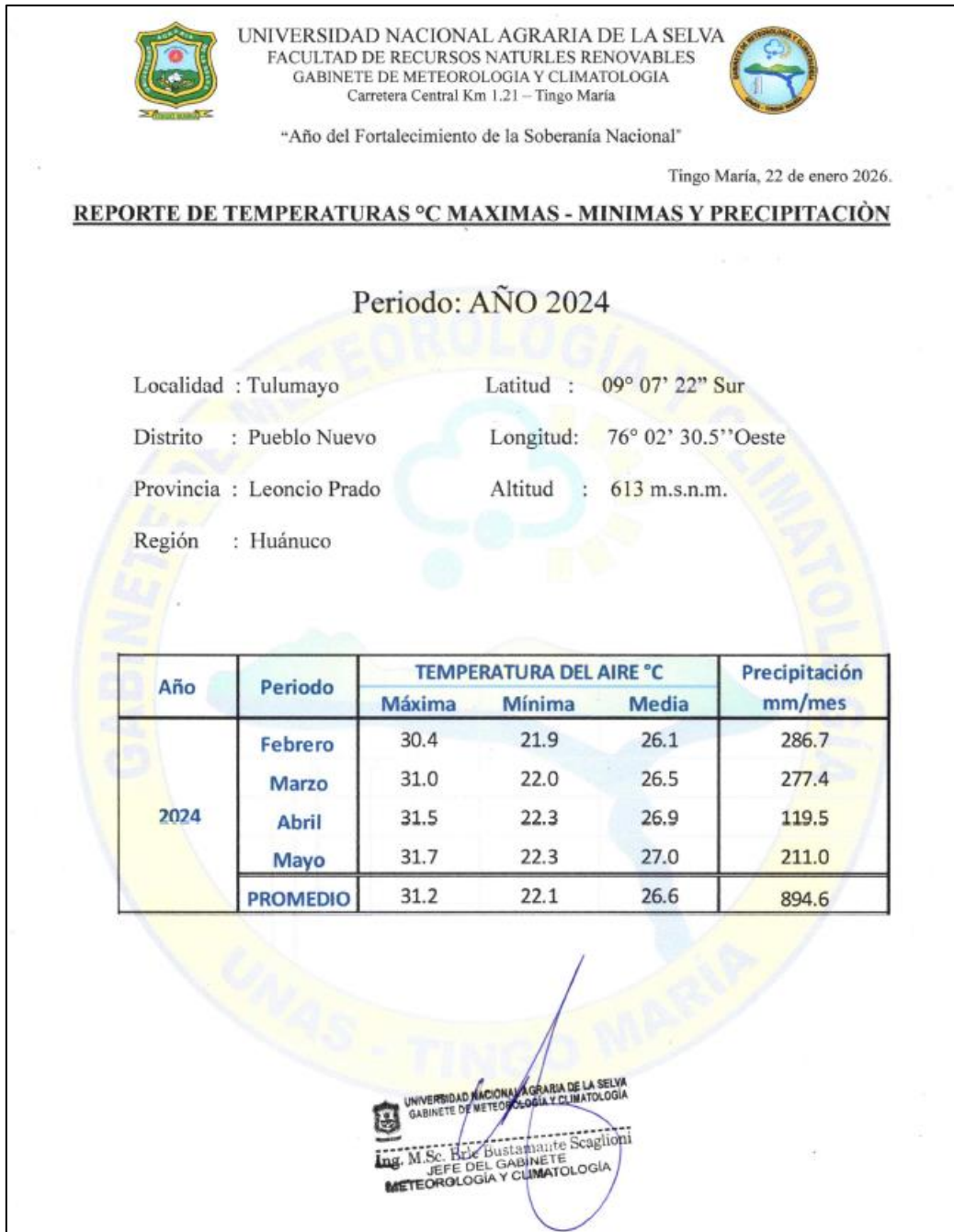


**Figura 23.** Preparación de las muestras para registrar el peso inicial.



**Figura 24.** Secado de las muestras en la estufa a 70°-80°C durante 24-72 horas.





**Figura 26.** Reporte de temperaturas máximas – mínimas y precipitación de la estación climatológica de Tulumayo.

## Anexo 02. Tablas de evaluación

**Tabla 16.** Última evaluación de las plantas de *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) por dosis y por frecuencia de aplicación

Dosis (ml)	Tiempo (días)	Diámetro (mm)	Altura (cm)
0	7	7,59	60,08
0	7	9,40	51,09
0	7	7,96	51,37
0	7	8,85	60,08
0	14	9,90	54,29
0	14	8,07	49,31
0	14	8,40	54,19
0	14	10,19	44,65
50	7	9,72	60,08
50	7	8,88	65,60
50	7	8,25	67,68
50	7	7,71	57,56
50	14	8,51	46,17
50	14	7,46	40,90
50	14	8,76	59,79
50	14	8,99	37,67
100	7	8,18	49,52
100	7	8,67	73,78
100	7	8,45	48,03
100	7	9,15	37,57
100	14	7,65	38,91
100	14	7,59	38,41
100	14	10,20	52,34
100	14	9,04	63,55
150	7	9,07	41,78
150	7	9,80	55,04
150	7	7,90	64,48
150	7	7,4	48,05
150	14	9,17	47,97
150	14	7,62	51,49
150	14	8,67	58,66
150	14	8,14	64,15